

DESARROLLO Y FUTURO DE LA ENERGIA

Por Gregorio MILLAN (*)

Doctor Ingeniero Aeronáutico,
Consejero - Delegado de S. E. de
C. Babcock & Wilcox.

Conferencia pronunciada en Bilbao el 21 de marzo de 1968, en la Junta de Cultura de Vizcaya, y que, por el interés del tema y tratamiento dado al mismo por el conferenciante, nos complacemos en transcribir.

1. La exploración científica y técnica constituye una aventura portentosa que dura milenios, uno de cuyos más fascinantes capítulos le ha correspondido vivir a nuestra generación.

En la historia de este proceso, períodos de fuerte espíritu innovador alternan con otros, más o menos duraderos, de explotación y perfeccionamiento de las posibilidades que aportaron las nuevas conquistas.

Pero la acumulación del saber, la magnitud cada vez mayor del esfuerzo aplicado y, recientemente, el empleo sistemático del método científico, han comunicado al proceso un ritmo de aceleración creciente, como muestra el gráfico de la figura 1, que señala algunos de los acontecimientos más importantes, a partir de lo que, en lenguaje de hoy, podríamos llamar la "revolución neolítica".

En él se han indicado algunas invenciones fundamentales de la antigüedad, tales como la rueda, la navegación a vela, el empleo del calendario, la utilización de la polea, una de las primeras máquinas simples de que se ha servido el hombre; la me-

talúrgica del hierro y la rueda hidráulica, por ejemplo, con objeto de ilustrar el gran espaciamiento que separa los descubrimientos en esas primeras etapas, frente a la situación de permanente innovación característica de nuestros días.

Al acercarse a nuestra época puede verse en el gráfico, efectivamente, cómo tiende a reducirse el intervalo de tiempo que separa la gran revolución del Renacimiento, de la Revolución Industrial, que se inicia en el siglo XVIII, y ésta de la Científica, última etapa de este proceso, que preside el signo de nuestros días y que, pese a extenderse tan sólo a lo largo de una generación, ha transformado ya de raíz las condiciones de la vida presente.

Además, los cambios de toda índole incorporados por las aportaciones de cada una de esas etapas, van siendo de una diversidad y alcance incomparablemente mayores que los de las épocas precedentes. En los dos cuadros del gráfico se mencionan, a título de ejemplo, algunas de las aportaciones técnicas más importantes de las Revoluciones Industrial y Científica, cuya mera enumeración da conciencia de lo que representan como cambio; si bien, por lo que respecta a nuestra época, algunos de los más importantes descubrimientos están todavía en fase experimental o sólo iniciando sus efectos. Tal

(*) El autor desea expresar su reconocimiento al señor Perea, Ingeniero de Babcock & Wilcox, por su valiosa cooperación en la preparación de este trabajo.

PERIODOS EVOLUTIVOS A TRAVES DE LA HISTORIA

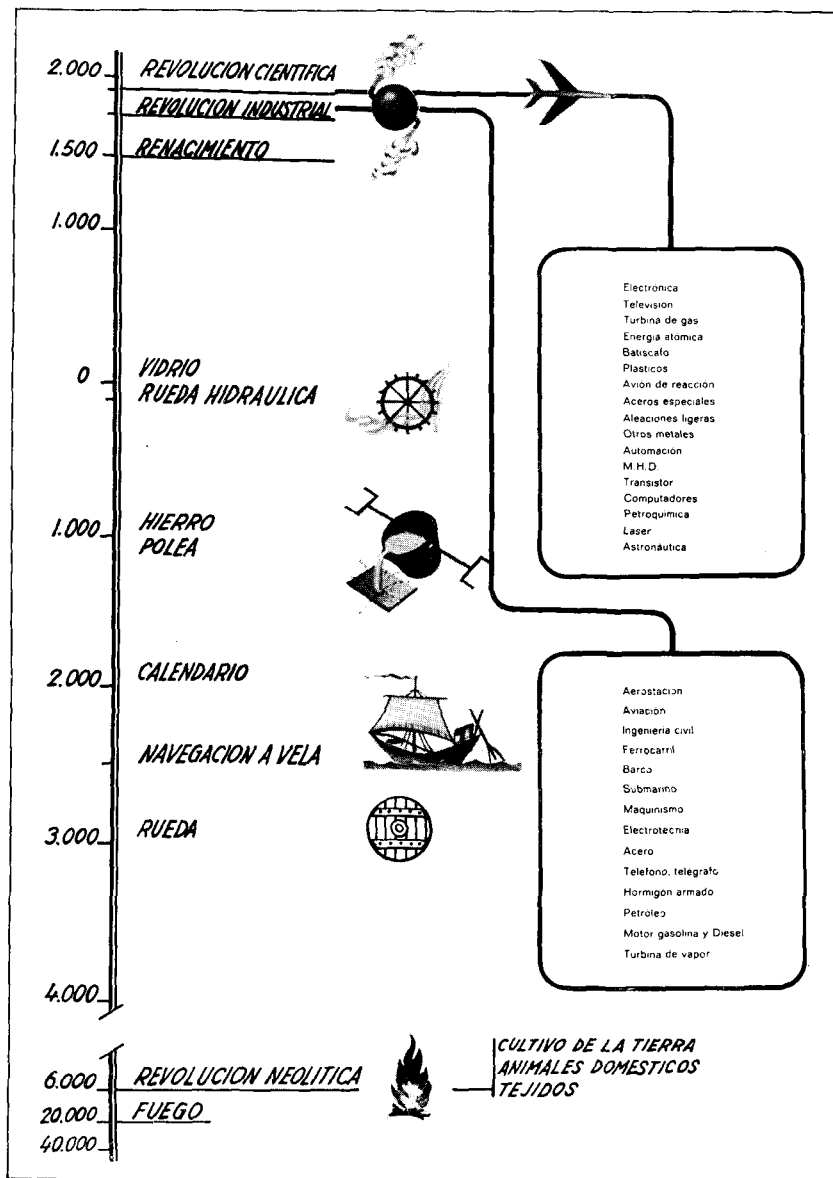


Figura 1.

es el caso, por ejemplo, de la comunicación por satélites, uno de los subproductos de la aventura espacial; o el del aprovechamiento pacífico de la energía nuclear o de la automación en los procesos industriales.

2. Entre los objetivos permanentes de este proceso de desarrollo tecnológico, ocupa un lugar primordial la búsqueda y explotación de los recursos energéticos, así como de los medios de transformarlos, mediante máquinas adecuadas, en forma que resulte utilizable para atender a las necesidades tecnológicas y para liberar al hombre de los trabajos serviles.

El desarrollo de la energía constituye así uno

de los capítulos más importantes y atrayentes de la historia de la técnica, muchas de cuyas realizaciones están rigurosamente condicionadas por la disponibilidad de máquinas dotadas de la potencia necesaria para poder llevarlas a cabo.

Baste, a título de ejemplo, considerar la demanda de potencia de uno de los medios de transporte más característicos de nuestra época: el avión. El primer avión de los hermanos Wright, de 1903, con el que se inició la época histórica de la aeronáutica, estaba equipado con un motor de 12 caballos. Una década más tarde, los bombarderos utilizados en la primera guerra mundial tuvieron ya una potencia de 500 caballos. El bimotor Dou-

glas, que es el avión de transporte comercial de más éxito y popularidad en la época de entreguerras, del cual se ven todavía no pocos ejemplares en vuelo, tenía una potencia instalada de 1.750 caballos. Los grandes bombarderos cuatrimotores norteamericanos de la segunda guerra mundial, llamados superfortalezas volantes, estaban dotados de cerca de 9.000 caballos.

Al pasar a los aviones de reacción habría que sustituir el concepto de potencia del motor por el de empuje; no obstante, para mantener la base de comparación, nos referiremos a la potencia correspondiente al empuje máximo y a la velocidad de crucero. Con ello, para los grandes reactores transoceánicos, tales como el Boeing 707, se obtiene una potencia superior a los 100.000 caballos, que se multiplica por diez en el primer avión comercial supersónico norteamericano, el SST, de la casa Boeing, que entrará en servicio dentro de pocos años.

Debiendo señalarse que en todos los casos descritos, un elemento limitativo de las posibilidades a alcanzar ha sido la potencia disponible.

3. Volviendo ahora al desarrollo de las disponibilidades de energía, el cuadro de la figura 2 muestra, al igual de lo que se hizo con el de la figura 1 para la técnica en general, algunas de las realizaciones más importantes en la conquista de aquélla. En él puede apreciarse también la acumulación de las realizaciones correspondientes a la época más reciente y el gran significado de muchas de ellas.

El cuadro evidencia cómo, durante la mayor parte de su vida, la humanidad no ha contado con otra fuente de energía que su propio trabajo. Esto ha sometido al hombre a una penosa servidumbre, que alcanzó su más característica expresión durante la antigüedad, en las masas de esclavos manejadas por los grandes imperios clásicos. Ahora bien, si queremos tener una medida de lo que ello representaba como posibilidad, para compararla con la situación actual, baste decir que, en la plenitud de sus condiciones físicas, un hombre es capaz de desarrollar tan sólo una potencia máxima continua que no alcanza a un vigésimo de caballo de vapor. Esto significa que durante una agotadora jornada de diez horas de esfuerzo continuo producirá escasamente medio caballo hora de trabajo, el cual conseguirá además con el exiguo rendimiento global del 2 por 100, medido con respecto a las calorías que necesita para alimentarse. Como, por otra parte, tan sólo una de cada tres o cuatro personas puede realizar esta clase de trabajo, ya que hay que excluir a los niños y a los ancianos, la energía humana disponible, *per capita*, queda reducida todavía a un tercio o un cuarto de la anterior.

Claro es que la utilización de los animales de carga y tiro, empleados desde la antigüedad, permitió mitigar algo esta situación. Sin embargo, debe advertirse, en primer lugar, que su utilización eficaz es relativamente reciente, puesto que depende del empleo de la herradura y, sobre todo, del arreo moderno, los cuales datan de la Edad Media. Por otra parte, si bien es cierto que ello sirvió para suavizar

Fig. 2.— Fechas de interés histórico.

A.C.	* 20.000 FUEGO	* 2.500 VELA
	* 8.000 ARCO	* 120 EOLIPILA MOLINO
	* 3.000 RUEDA	* 100 RUEDA HIDRAULICA
<hr/>		
D.C.	* 1.690 MAQ. ELEVAC. AGUA	* 1.883 TURBINA DE VAPOR
	* 1.763 AUTOMOVIL DE VAPOR	* 1.885 TURBINA PELTÓN
	* 1.765 MAQ. DE VAPOR	* 1.886 ALTERNADOR
	* 1.799 PILA VOLTAICA	* 1.888 MOTOR DE INDUCCION
	* 1.801 MOTOR COMB. INTERNA	* 1.893 MOTOR DIESEL
	* 1.814 LOCOMOT. DE VAPOR	* 1.912 TURBINA KAPLAN
	* 1.827 TURBINA HIDRAULICA	* 1.930 TURBINA DE GAS
	* 1.849 TURBINA FRANCIS	* 1.932 PILA DE COMBUSTIBLE
	* 1.866 DINAMO	* 1.942 1.º REACTOR NUCLEAR
	* 1.867 CALDERA ACUOTOBULAR	* 1.954 BATERIA DE ISOTOPOS BATERIA SOLAR
	* 1.874 MOTOR DE GASOLINA	* 1.956 1.º CENTRAL NUCLEAR
	* 1.878 MOTOR C. C.	* 1.960 LASER
	* 1.882 1.º CENTRAL TERMoeLECTRICA	* 1.967 CENTRAL MAREOMOTRIZ

en algunos casos el trabajo del hombre, la explotación de la energía animal permitió, a lo sumo, triplicar la humana, por lo que tampoco influye en el orden de magnitud de la energía total disponible.

Aun cuando se conocían y utilizaban, en escala limitada, desde hace siglos, algunos dispositivos mecánicos, tales como la rueda hidráulica, que ya emplearon los romanos para accionar los molinos y que se generalizó bastante en la Edad Media; o el molino de viento, empleado también desde el siglo XII, su contribución no altera tampoco, en forma sensible, el balance energético anterior ni el esfuerzo exigido del hombre para sobrevivir.

El desarrollo y la explotación en gran escala de otras fuentes de energía distintas de la animal son obra, prácticamente, de nuestra época y tienen su origen en la máquina de vapor, introducida durante la Revolución Industrial del siglo XVIII, en que se inició la era del maquinismo. La última etapa de este proceso corresponderá al empleo generalizado de la automatización, ya iniciada. De ella cabe esperar la completa liberación del esfuerzo muscular y de la repetición automática en las tareas de producción, que cederán el paso a actividades más intelectuales, como el maquinismo ha permitido sustituir el peonaje industrial por personal de mayor cualificación profesional, ocupado en trabajos que exigen un menor esfuerzo físico y una mayor preparación.

Un dato revelador del grado de liberación ya alcanzado es el siguiente, citado por el Director del Instituto de Electricidad Edison, de Nueva York, señor Vennard, durante la Conferencia Americana de la Energía Eléctrica de 1965: "En 1850, es decir, cuando la Revolución Industrial había alcanzado ya un amplio desarrollo, el 68 por 100 del trabajo total, en los Estados Unidos, procedía de la energía animal y humana. En la actualidad, más del 98 por 100 procede de otras fuentes de energía, eléctricas o mecánicas, desarrolladas por el hombre".

Por otra parte, las exigencias de energía crecen rápidamente con el nivel de desarrollo de un país, y las estadísticas muestran que existe una perfecta correlación entre el consumo total de energía primaria de los habitantes, medida, por ejemplo, en toneladas métricas equivalentes de carbón, y la renta *per capita*. Esa correlación, que permitiría medir el nivel de vida por el consumo de energía primaria, del mismo modo que se hace por la renta, aparece reflejada en el gráfico de la figura 3 y se ve que cubre la gama completa, desde las rentas más bajas hasta las más elevadas.

4. Las fuentes básicas de energía primaria, que necesitan transformarse de algún modo, para darles forma aprovechable, son, como es sabido, el

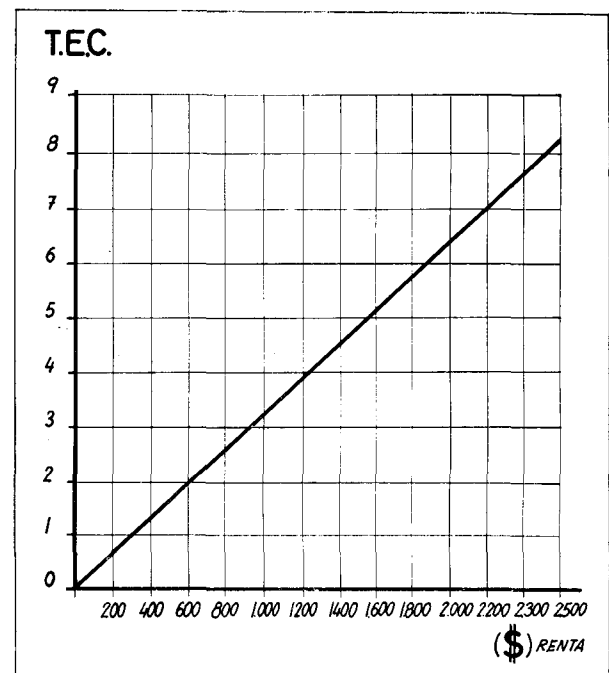


Fig. 3. — Relación entre renta y consumo de energía primaria per cápita.

agua, el carbón y el petróleo, junto con el gas natural. Mientras que las dos primeras vienen aprovechándose desde hace mucho tiempo, en formas diversas, la explotación del petróleo se inició a mediados del siglo pasado.

La participación de estas fuentes en el consumo total de energía en el mundo, ha experimentado una honda transformación en los tiempos recientes, cuya característica más destacada ha sido el gran incremento que ha tomado el petróleo durante las últimas décadas, al punto de predominar hoy, con mucho, sobre las restantes, a diferencia de lo que ocurría hace tan sólo veinte años, en que el carbón era la fuente energética predominante. La tabla de la figura 4 muestra la participación de cada una de las fuentes citadas en el consumo total de energía primaria desde 1950 y su previsible evolución durante los próximos años, hasta 1985. En ella, a partir de 1965, se ha incluido, además, la energía nuclear, cuya participación en el total está todavía en fase de iniciación, como puede verse, pero desarrollándose a un ritmo muy rápido, como mostraremos más adelante.

5. La cuestión consiste ahora en transformar esa energía primaria, contenida en un salto de agua, en el carbón, el petróleo o el gas, para darla forma utilizable, en el lugar y momento en que se necesita. Ello se consigue hoy, naturalmente, mediante

Fuentes mundiales de energía.

Tanto por ciento relativo.

	1950	1965	1975	1985
Petróleo	33	47	50	49
Gas natural ...	10	16	17	19
Carbón	48	28	23	18
Hidráulica	7	7	7	7
Nuclear	—	< 1	2	7
Varias	2	2	1	< 1
	100	100	100	100

Figura 4.

dispositivos tales como los motores de explosión y las turbinas hidráulicas, de vapor o de gas, bien para aplicar su potencia directamente a las máquinas o vehículos, bien para producir electricidad.

En lo que sigue nos circunscribiremos a esta única forma de energía secundaria, porque las centrales eléctricas de nuestros días son los grandes centros generadores de energía del presente, y su análisis resulta suficiente a los propósitos del tema de esta conferencia.

Por otra parte, la energía eléctrica constituye una fracción muy importante de la energía total consumida por un país, si bien menor de lo que podría pensarse a primera vista, aun cuando tiende a aumentar rápidamente. Por ejemplo, en Estados Unidos, país que utilizaremos a veces como referencia, por tratarse de uno de los más desarrollados en estas cuestiones, la energía eléctrica representa tan sólo el 20 por 100 de la primaria total, pero se calcula que esta cifra se elevará al 30 por 100 en 1980. En España, si bien la proporción es, lógicamente, algo mayor, el orden de magnitud es el mismo.

La forma en que la energía mecánica contenida en el salto de agua, o la química contenida en los combustibles, se transforma en energía eléctrica, es esencialmente la misma. El salto de agua, los gases de la combustión o el vapor producido por ésta en una caldera, accionan una turbina hidráulica, de gas o de vapor, la cual mueve un generador de electricidad, el alternador, de donde la corriente pasa a una estación de transformación, con objeto de elevar su tensión para reducir las pérdidas en el transporte hasta los centros de consumo.

La figura 5 muestra el esquema de una central con turbina de vapor y el de una central hidráulica, señalando en cada una los elementos esenciales.

Las grandes centrales actuales son hidráulicas o de vapor, mientras que las centrales con turbina de gas, de potencia mucho menor, se utilizan para aten-

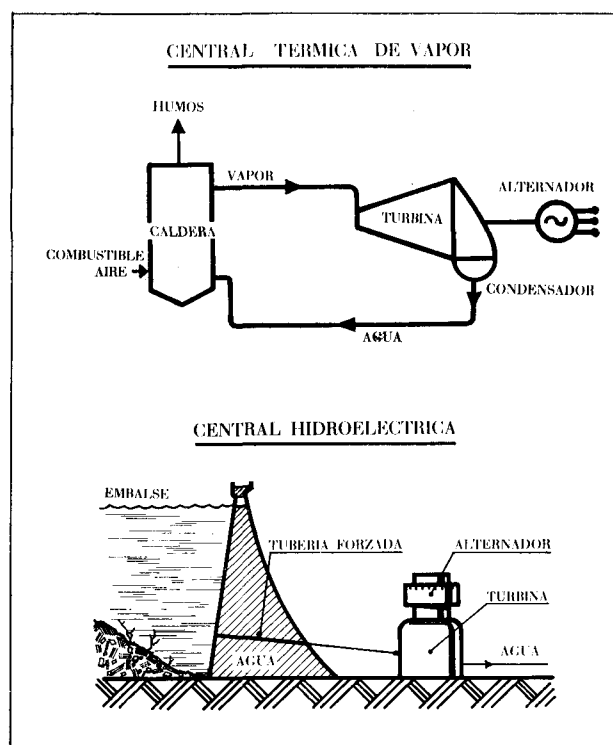
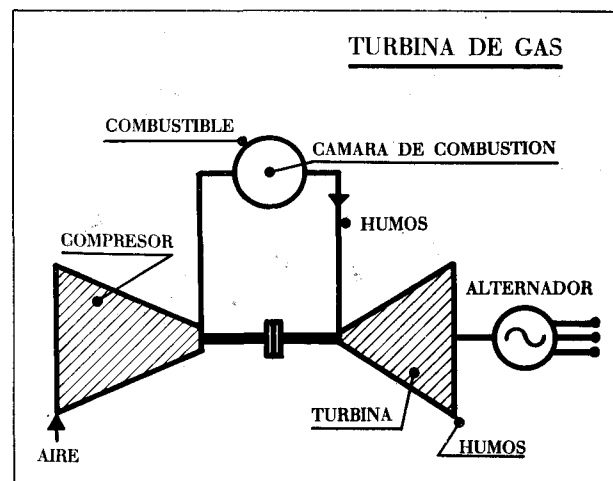


Figura 5.

der las exigencias específicas de lugares concretos o para hacer frente a la demanda de las puntas de consumo.

La figura 6 muestra el esquema de una de estas centrales, en la que puede verse que la caldera ha sido sustituida por un compresor de aire, acoplado a la turbina, y por una cámara de combustión, cuyos gases, mezclados con el aire, accionan la turbina, en lugar de hacerlo el vapor, como ocurría en la figura 5.

Figura 6.



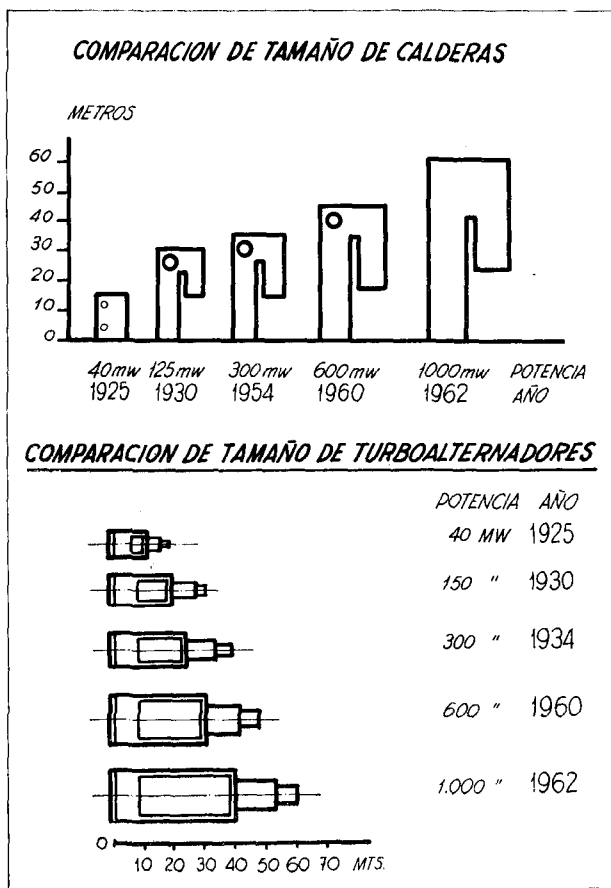


Figura 7

En lo que sigue nos referimos especialmente a las centrales de vapor, porque son las que más nos interesan a los efectos de nuestro tema.

En este tipo de instalaciones existe una importante economía de inversión y de costo de producción al aumentar el tamaño de la central. Por ello se ha realizado un gran esfuerzo de desarrollo tecnológico para aumentar la potencia unitaria, cuyo resultado aparece esquematizado en la figura 7 para las calderas de vapor y para los turboalternadores, que son los elementos esenciales de la central. En ella puede verse cómo, en un intervalo de treinta y siete años, la potencia unitaria se ha multiplicado por 25, cifra realmente espectacular, mientras que el aumento de tamaño de las máquinas representadas a escala en la figura, ha sido incomparablemente menor, como testimonio del progreso tecnológico conseguido. Esta desproporción entre los aumentos de potencia y de tamaño explica la economía de escala, la cual, sin embargo, no es proporcional, naturalmente, por la mayor complejidad de las máquinas más potentes.

El dibujo seccionado de la figura 8, correspondiente a una caldera Babcock & Wilcox, de una central de 500 MW., que produce 1.565 Tm. de vapor por hora, a una presión de 169 atm. y a una temperatura de 568° C., nos permite apreciar la complejidad real de una de tales instalaciones.

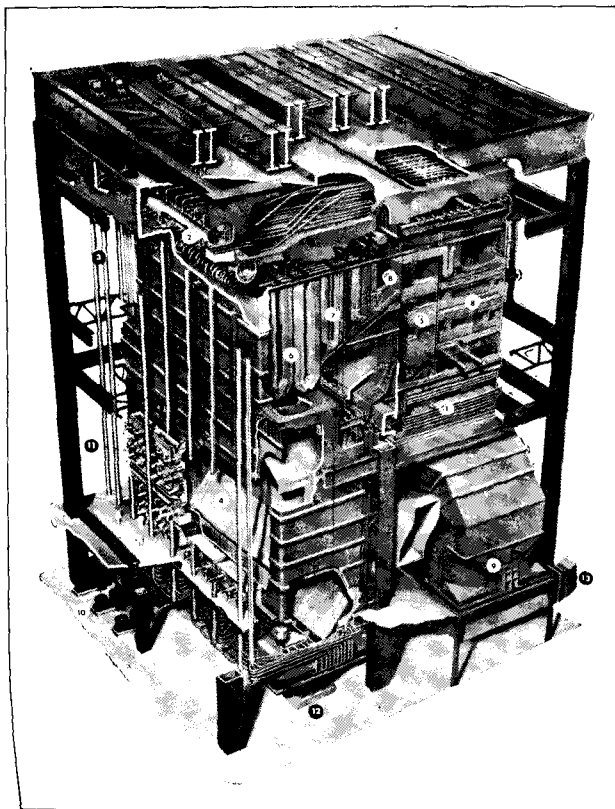


Figura 8.

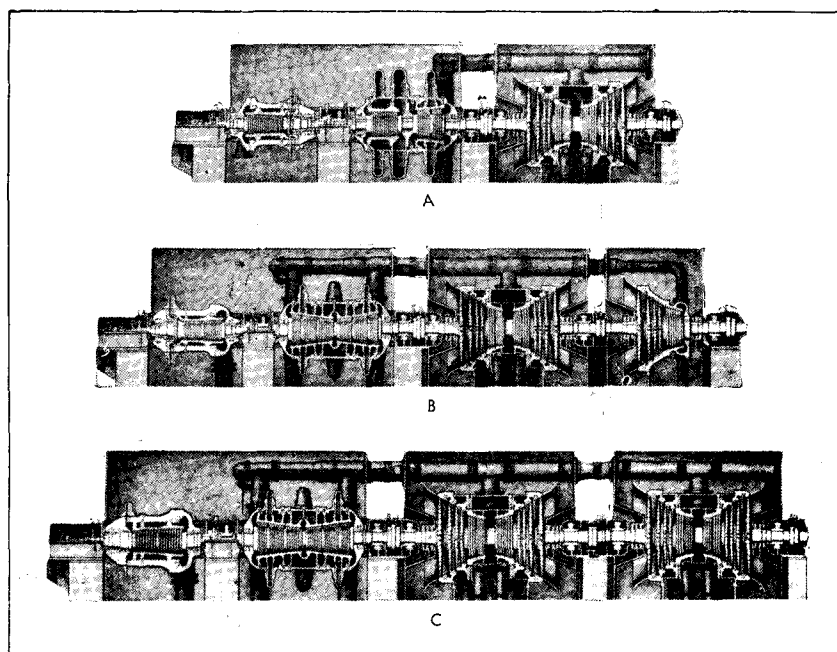
CALDERA BABCOCK PARA CENTRAL TERMICA DE 500 MW

Radiante, con recalentamiento, de carbón pulverizado

Vaporización	1.565 Tm./h.
Presión salida sobrecalentador	169 Kg./cm. ² .
Temperatura final de vapor	568° C.
Temperatura de alimentación	254° C.
Caudal de vapor recalentado	1.242 Tm./h.
Temperatura inicial de recalentamiento ..	364° C.
Temperatura final de recalentamiento ..	568° C.

1. Economizador.
2. Tambor agua/vapor.
3. Tubos de bajada.
4. Paredes membrana.
5. Sobrecalentador primario.
6. Sobrecalentador radiante.
7. Sobrecalentador secundario.
8. Recalentador
9. Calentadores de aire.
10. Ventiladores aire primario.
11. Quemadores.
12. Tolva de cenizas.
13. Salida de humos.

Fig. 9. — A. — Constitución fundamental de una turbina de vapor de 150 MW., tipo constructivo de un solo eje con parte de baja presión de doble flujo. B. — Constitución fundamental de una turbina de vapor de 300 MW., tipo constructivo de un solo eje con parte de baja presión de tres flujos. C. — Constitución fundamental de una turbina de vapor de 600 MW., tipo constructivo de un solo eje con parte de baja presión de cuatro flujos.



binas de vapor Siemens, de 150, 300 y 600 MW.,

Análogamente, la figura 9 nos muestra tres turbinas respectivamente, donde puede apreciarse también su gran complejidad y la relación de tamaños en función de las potencias.

6. Es claro que las inversiones requeridas para la producción de energía son enormes y convierten a la producción de electricidad en la primera industria de un país desarrollado, la cual absorbe una cifra del orden del 10 por 100 o más del total de los recursos disponibles para el desarrollo industrial. La forma en que tales inversiones se distribuyen entre centrales hidráulicas y térmicas, aparte de las redes de transporte y distribución, depende, naturalmente, de las condiciones especiales de cada país. Por ejemplo, en Estados Unidos la potencia hidráulica es tan sólo el 18 por 100 de la total, mientras que en España aquella cifra se eleva al 70 por 100.

7. Si pasamos ahora a considerar la demanda de esta energía, la tabla de la figura 10 muestra la producción y el consumo anual de energía eléctrica de los diversos países, tanto global como por habitante en k.W.h. Aparte de la correlación que también existe aquí entre el consumo de esta energía y el nivel de desarrollo, aun cuando no tan acentuada como en el de la energía primaria, como es lógico prever, si se tiene en cuenta que un kilovatio de potencia equivale a 1,36 caballos y se recuerdan las cifras dadas al comienzo sobre la potencia animal, se comprueba el enorme factor de multiplicación que tales consumos representan.

Por otra parte, el índice de crecimiento anual de

la producción de energía eléctrica es considerablemente mayor que el de la renta nacional. En los países desarrollados, dicho índice es del 7 por 100 anual acumulativo, y en el nuestro sobrepasa el 11 por 100.

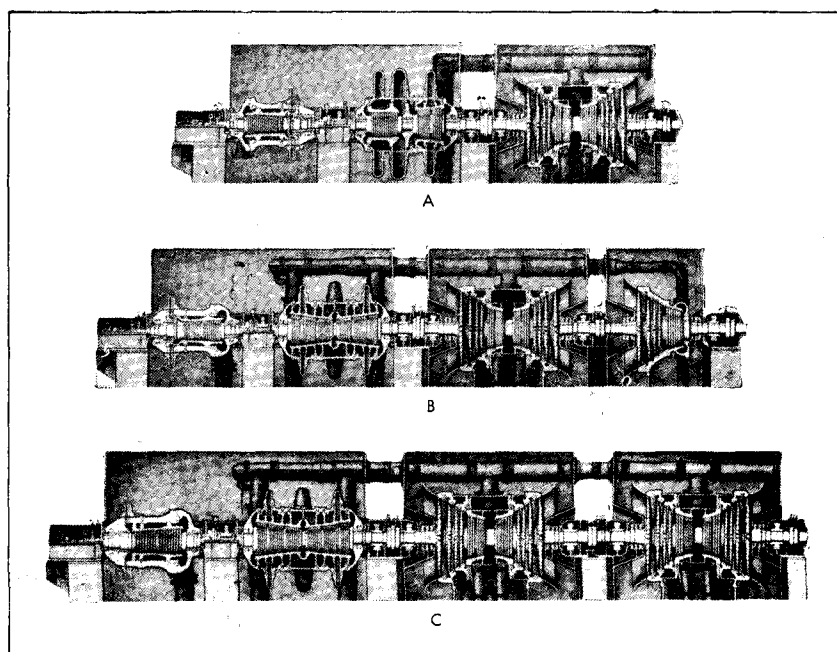
De esa energía, una fracción variable de un país a otro, que en Estados Unidos, por ejemplo, es del 50 por 100 y en España del 75 por 100, se destina a usos industriales.

Producción total de energía eléctrica y consumo "per cápita" de energía eléctrica.

Año 1965.

País	Millones k.W.h.	k.W.h per cápita
Noruega	49.000	12.600
Canadá	144.300	7.360
Suecia	49.100	6.250
Estados Unidos	1.158.000	6.000
Suiza	24.500	3.840
Reino Unido	196.000	3.600
Alemania Occid.	172.400	3.000
Austria	22.300	2.540
Bélgica	21.700	2.100
Francia	101.500	2.530
Holanda	25.100	2.040
Japón	192.200	2.000
Italia	80.000	1.550
España	31.650	980
Portugal	4.360	550
Grecia	4.640	515

Fig. 9. — A. — Constitución fundamental de una turbina de vapor de 150 MW., tipo constructivo de un solo eje con parte de baja presión de doble flujo. B. — Constitución fundamental de una turbina de vapor de 300 MW., tipo constructivo de un solo eje con parte de baja presión de tres flujos. C. — Constitución fundamental de una turbina de vapor de 600 MW., tipo constructivo de un solo eje con parte de baja presión de cuatro flujos.



binas de vapor Siemens, de 150, 300 y 600 MW.,

Análogamente, la figura 9 nos muestra tres turbinas respectivamente, donde puede apreciarse también su gran complejidad y la relación de tamaños en función de las potencias.

6. Es claro que las inversiones requeridas para la producción de energía son enormes y convierten a la producción de electricidad en la primera industria de un país desarrollado, la cual absorbe una cifra del orden del 10 por 100 o más del total de los recursos disponibles para el desarrollo industrial. La forma en que tales inversiones se distribuyen entre centrales hidráulicas y térmicas, aparte de las redes de transporte y distribución, depende, naturalmente, de las condiciones especiales de cada país. Por ejemplo, en Estados Unidos la potencia hidráulica es tan sólo el 18 por 100 de la total, mientras que en España aquella cifra se eleva al 70 por 100.

7. Si pasamos ahora a considerar la demanda de esta energía, la tabla de la figura 10 muestra la producción y el consumo anual de energía eléctrica de los diversos países, tanto global como por habitante en k.W.h. Aparte de la correlación que también existe aquí entre el consumo de esta energía y el nivel de desarrollo, aun cuando no tan acentuada como en el de la energía primaria, como es lógico prever, si se tiene en cuenta que un kilovatio de potencia equivale a 1,36 caballos y se recuerdan las cifras dadas al comienzo sobre la potencia animal, se comprueba el enorme factor de multiplicación que tales consumos representan.

Por otra parte, el índice de crecimiento anual de

la producción de energía eléctrica es considerablemente mayor que el de la renta nacional. En los países desarrollados, dicho índice es del 7 por 100 anual acumulativo, y en el nuestro sobrepasa el 11 por 100.

De esa energía, una fracción variable de un país a otro, que en Estados Unidos, por ejemplo, es del 50 por 100 y en España del 75 por 100, se destina a usos industriales.

Producción total de energía eléctrica y consumo "per cápita" de energía eléctrica.

Año 1965.

País	Millones k.W.h.	k.W.h per cápita
Noruega	49.000	12.600
Canadá	144.300	7.360
Suecia	49.100	6.250
Estados Unidos	1.158.000	6.000
Suiza	24.500	3.840
Reino Unido	196.000	3.600
Alemania Occid.	172.400	3.000
Austria	22.300	2.540
Bélgica	21.700	2.100
Francia	101.500	2.530
Holanda	25.100	2.040
Japón	192.200	2.000
Italia	80.000	1.550
España	31.650	980
Portugal	4.360	550
Grecia	4.640	515

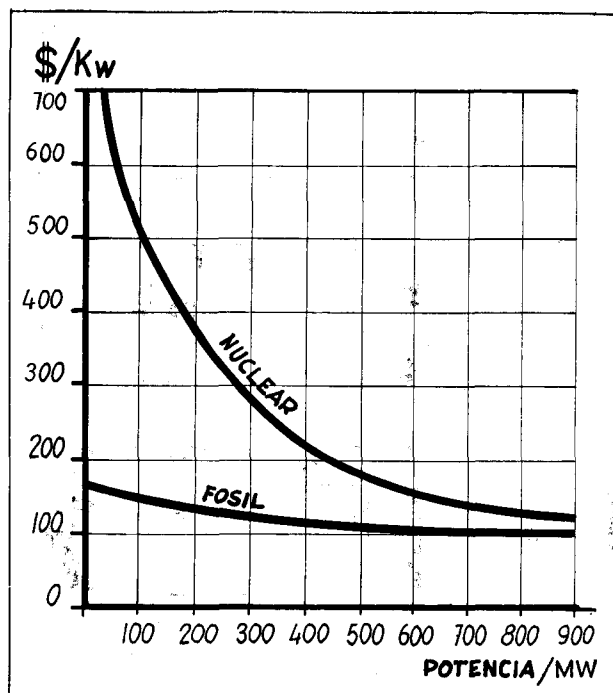


Fig. 11. — Costo de Kwe, instalado en centrales nucleares y convencionales.

8. Así las cosas, en 1942 hace su aparición una fuente de energía radicalmente nueva, con la primera reacción en cadena controlada, que se consiguió en la Universidad de Chicago, como resultado de un programa de investigación de guerra cuya magnitud y secreto no tenían precedentes. Claro está que su nacimiento aparece rodeado de los más angustiosos presagios, puesto que su primera manifestación práctica son los bombardeos nucleares de Hiroshima y Nagasaki. Pero, como alguien ha dicho, lo mismo hubiera ocurrido con la electricidad si su primera aplicación práctica hubiera sido la silla eléctrica. Porque lo cierto es que las posibilidades de utilización pacífica de la energía nuclear aparecen ya hoy como inmensas, y el esfuerzo aplicado para alcanzarlas es tan considerable que convierte al empeño en una de las grandes operaciones tecnológicas, si no la mayor, de nuestra época. Para muchas de sus realizaciones, y concretamente para la producción de energía, lo conseguido ha alcanzado ya la fase netamente comercial, en que las decisiones se basan en criterios puramente económicos.

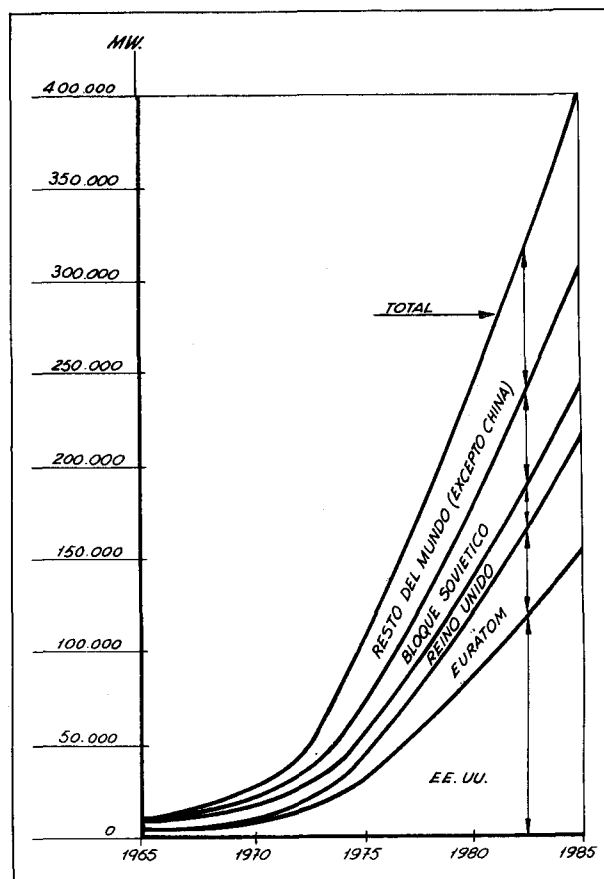
El gráfico de la figura 11 ilustra, a título de ejemplo, la evolución experimentada por el costo del kilovatio de potencia instalada en centrales nucleares y su comparación con las térmicas. En él puede verse la reducción conseguida para las centrales nucleares en pocos años, ya que la primera data de 1956, lo que da idea del ritmo del proceso tecnológico en el sector.

El gráfico de la figura 12 muestra el rápido crecimiento de la potencia nuclear que quedará instalada en las diversas regiones del mundo, según las previsiones actuales, hasta el año 1985. Claro está que esa potencia nuclear, cuyo valor para los diversos países se da en la tabla de la figura 13 y totaliza 80.000 MW., representa todavía una fracción pequeña de la potencia eléctrica total de los países, según puede verse en la tabla de la figura 14, pero su ritmo de crecimiento es el más rápido de todos.

9. Para comprender ahora el mecanismo, en virtud del cual se genera la energía nuclear, lo mejor es compararla con la forma de producción de la energía química que se libera, por ejemplo, en los procesos de combustión. Esto se hace en el esquema de la figura 15, en el que se comparan los mecanismos de liberación de energía química y nuclear, en dos supuestos simplificados.

Se sabe desde hace mucho tiempo que el átomo, pese a que su nombre quiere decir "indivisible", es una estructura compleja y fraccionable, que forma un sistema planetario, en el que diversas capas de electrones rodean a un núcleo central.

Fig. 12. — Capacidad nuclear instalada, período 1965-1985.



Las reacciones químicas, como, por ejemplo, las de combustión, son disociaciones y asociaciones de átomos distintos, que sólo afectan a los electrones de las capas exteriores, pero para nada a los núcleos. Las energías liberadas en ellas, cuya unidad de medida se llama electrón-voltio, son, para esas reacciones, del orden de magnitud de una o varias unidades.

Por el contrario, en las reacciones nucleares la transformación tiene lugar en el núcleo mismo del átomo, el cual durante algún tiempo se creyó que era un elemento simple, pero posteriormente pudo comprobarse que tiene, a su vez, una estructura compleja, cuya desintegración, espontánea, como ocurre en las sustancias radiactivas, o forzada por el impacto de alguna partícula, como ocurre en el esquema de la figura 15, libera una cantidad de energía que es millones de veces mayor que la de combustión. Esta es la energía nuclear, y ese factor multiplicador de millones explica lo que representa como recurso nuevo, frente a lo que hasta ahora permitía alcanzar la energía química.

Ello explica también el enorme poder destructor de las bombas atómicas; o el que los barcos y submarinos nucleares puedan permanecer por tiempos virtualmente ilimitados, sin repostar combustible.

10. Esto da la medida, igualmente, de las energías que hay que manejar para penetrar en el análisis de la estructura del núcleo atómico y de las propiedades de las partículas que lo integran, así como de las fuerzas que las mantienen unidas. Se trata de un tema fundamental de la Física de Altas Energías de la actualidad, cuya investigación, en las formas más avanzadas, requiere medios que están sólo al alcance de los países más poderosos, tales como Estados Unidos y Rusia, o de un programa cooperativo entre los restantes.

Centrales en funcionamiento, construcción o contratadas.

País	Potencia MW
Estados Unidos	55.000
Gran Bretaña	9.200
Francia	5.100
Alemania occidental	2.300
Italia	650
Japón	2.600
Bélgica	530
Canadá	1.475
Suiza	1.360
Suecia	620
España	1.100

Fig. 13. — Potencia eléctrica nuclear (marzo 1968).

Predicciones para 1970.

País	MW (total)	MW (nuclear)	% Nuclear
EE. UU.	313.000	12.500	4,00
Gran Bretaña.	73.000	5.900	8,10
Alemania Occ.	47.000	1.000	2,10
Francia	32.000	1.900	5,90
Italia	32.000	650	2,00
España	17.000	610	3,60
Suecia	15.000	420	2,80
Suiza	12.000	—	—
Noruega	10.000	350	3,50
Holanda	9.000	50	0,56
Austria	8.000	—	—
Bélgica	6.000	260	4,30
Dinamarca	4.000	—	—
Portugal	2.000	—	—

Fig. 14. — Potencia eléctrica instalada.

Por entenderlo así y para no quedar al margen de ese campo de investigación tan lleno de futuro, los países de la Europa occidental han creado un Centro internacional, con sede en Ginebra, el CERN, cuyos laboratorios pueden verse en la figura 16. Fundado en 1952, pertenecen a él trece países, incluida España; tiene un presupuesto anual de 5.000 millones de pesetas y un equipo de trabajo de más de 2.000 personas.

La técnica para desintegrar los núcleos atómicos consiste en bombardearlos mediante partículas elementales. Para ello hay que dotarlas previamente de energía suficiente, lo que se consigue acelerándolas hasta velocidades virtualmente iguales a la de la luz, en máquinas llamadas "aceleradores", las cuales constituyen uno de los equipos más característicos, caros y complejos de esta clase de laboratorios.

Las mayores máquinas de este tipo consisten en grandes anillos de hormigón de varios cientos de metros de diámetro, enterrados para proteger contra las radiaciones. En su interior dan vueltas las partículas nucleares, electrones o protones, al mismo tiempo que se aceleran bajo la acción de un conjunto de campos electromagnéticos distribuidos a lo largo del anillo y sincronizados con el movimiento de las partículas. Cuando éstas alcanzan una energía suficiente, se les da la salida del anillo e inciden sobre un blanco, formado por el material cuyo núcleo atómico se quiere desintegrar. En el plano de los laboratorios del CERN puede apreciarse la posición de una de tales máquinas, capaz de imprimir una energía de 28.000 millones de electrón-voltios.

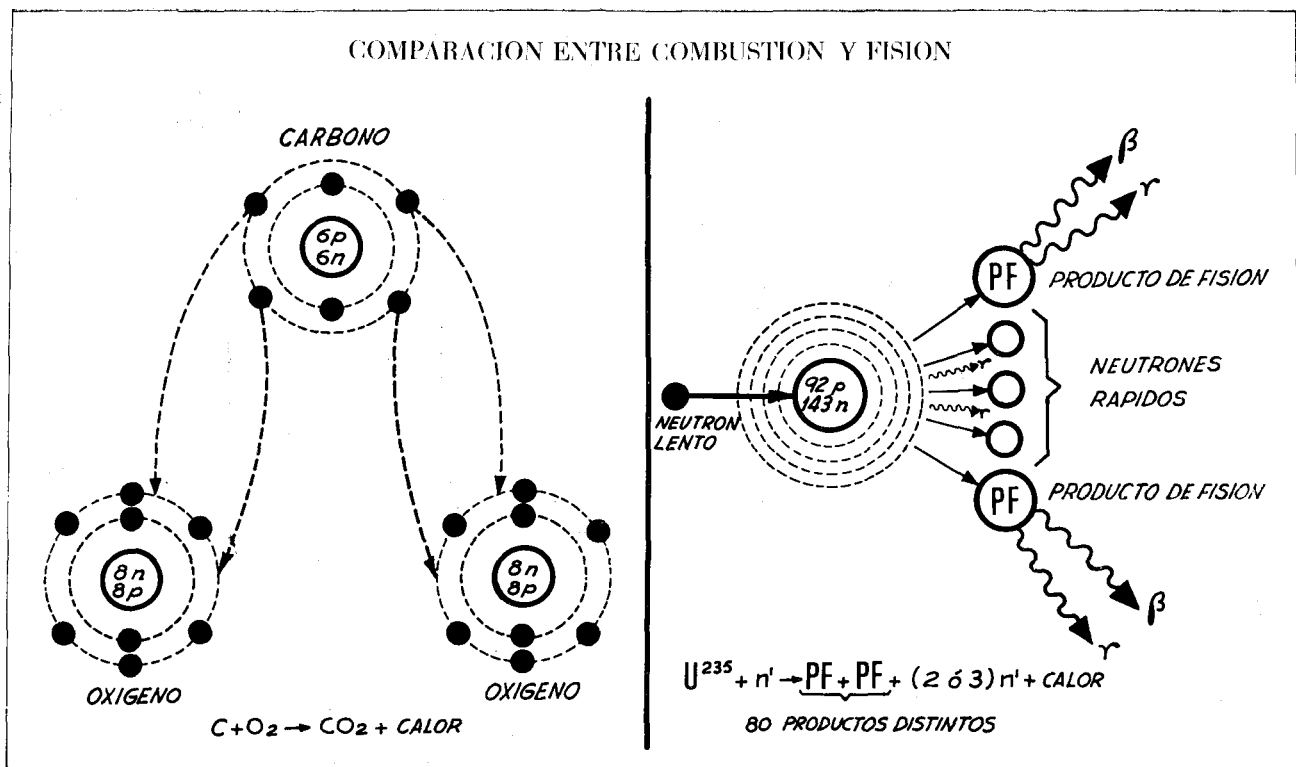
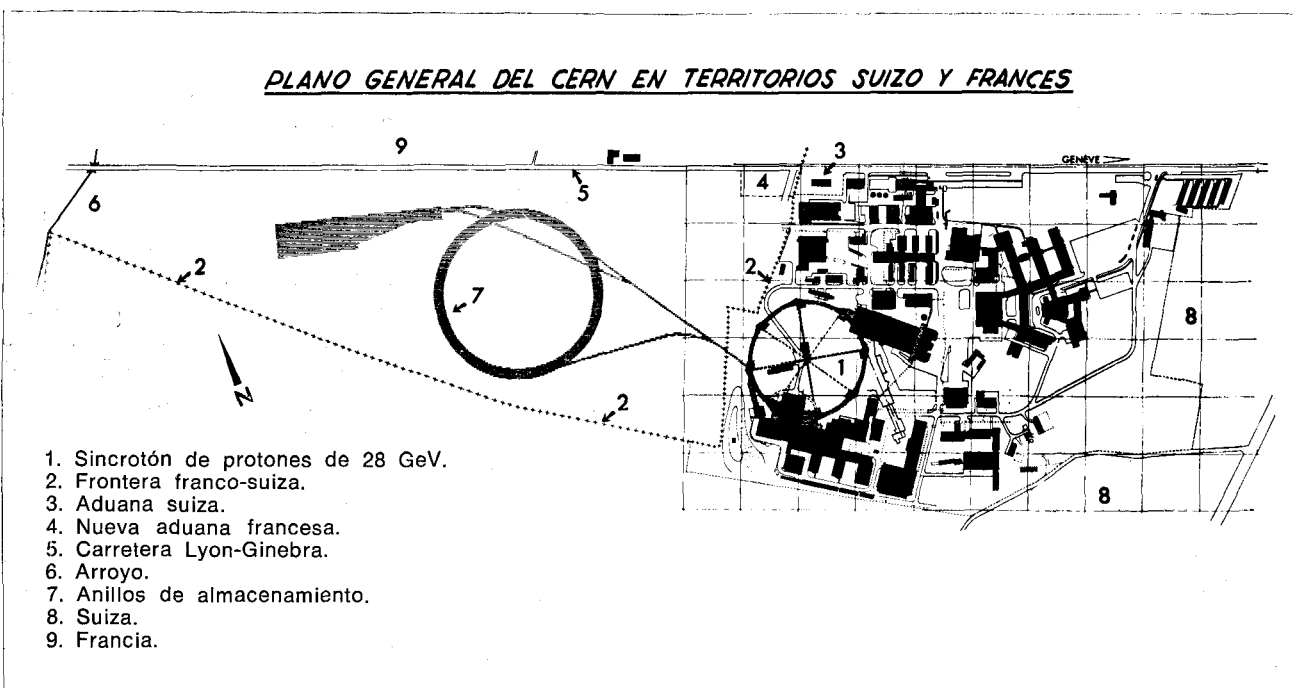


Figura 15.

Figura 16.



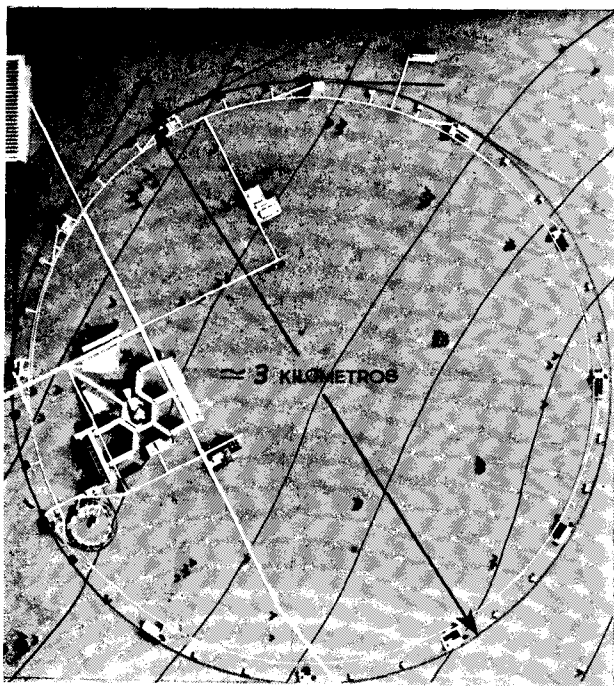


Fig. 17. — Maqueta de acelerador de 300 GeV (gran máquina).

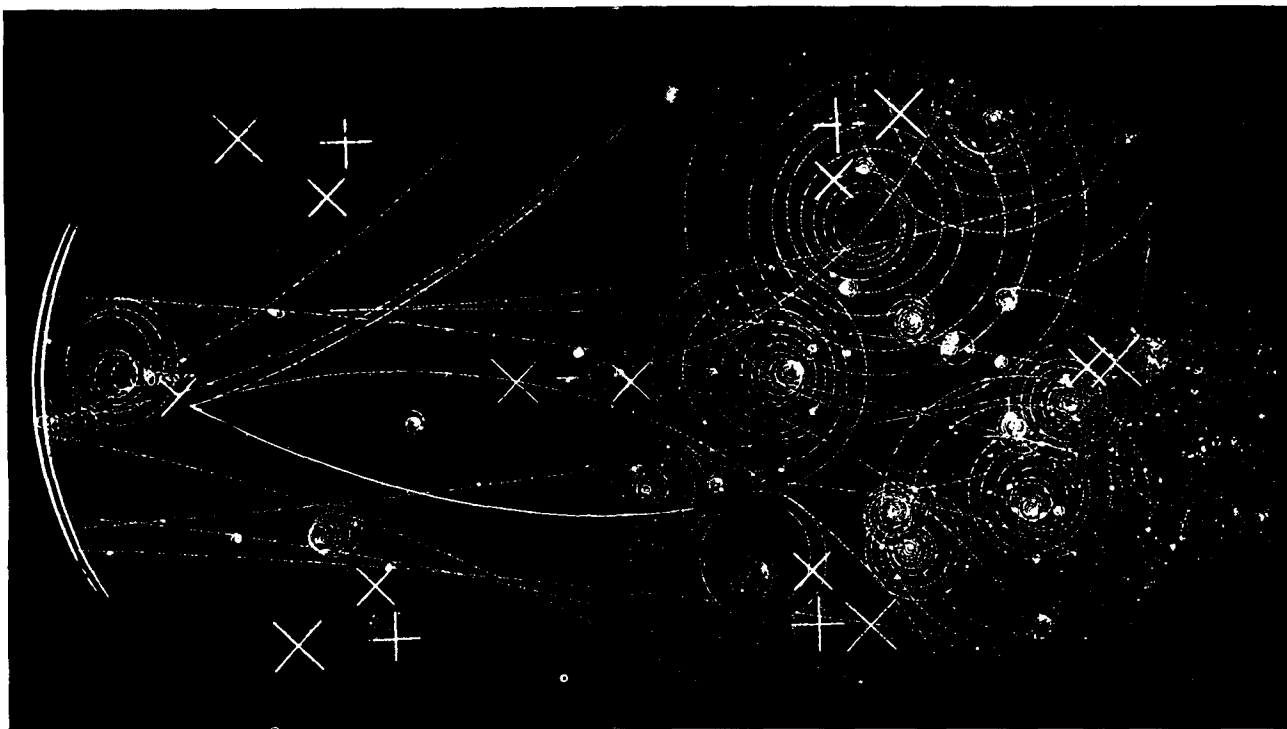
Pero esa máquina no le basta ya al CERN, que hoy ha quedado retrasado con respecto a las nuevas instalaciones que Norteamérica y Rusia tienen en construcción. Por eso el CERN tiene en proyecto, a su vez, la construcción de otra máquina

na mucho más potente (unas diez veces), cuya maqueta se muestra en la figura 17 y cuyo anillo tendrá cerca de 3 Km. de diámetro. La construcción de este laboratorio costará 36.000 millones de pesetas; su presupuesto anual de funcionamiento será de 6.000 millones y su plantilla de 5.000 personas, debiendo contar con una central de energía eléctrica propia, de 300 MW.

La elección del lugar de emplazamiento, dentro de alguno de los países del CERN, está condicionada al cumplimiento de determinadas condiciones por lo que respecta a facilidades de comunicación, proximidad a centros culturales, ayudas económicas y a severas condiciones geológicas del terreno. Entre los diversos lugares señalados en una preselección, la zona próxima a El Escorial se evidenció como especialmente adecuada. La decisión final dependerá de muchos factores, entre los cuales las presiones de carácter político jugarán un papel inevitable y muy fuerte, dada la magnitud del proyecto y lo que puede representar como plataforma científica para el país que logre hacerse con su emplazamiento.

Al incidir las partículas aceleradas sobre el núcleo del blanco, lo desintegran, originándose radiaciones y partículas, cuyas trayectorias pueden fotografiarse mediante una técnica especial, sumamente ingeniosa y delicada. El análisis de las fo-

Figura 18.



tografías y el cálculo posterior, mediante computadores, permiten identificar las partículas y sus propiedades. La figura 18 muestra una de tales fotografías, con trayectorias rectas y espirales características de diversos tipos de partículas, la vida de algunas de las cuales se mide en fracciones de una millonésima de segundo. La figura 19 muestra una cámara de burbujas, donde las trayectorias de las partículas se hacen visibles para fotografiarlas.

11. En general, la investigación nuclear requiere un esfuerzo económico y humano, así como unas medidas de seguridad y control tan sólo asequibles a los Gobiernos, cuando no a programas internacionales como el del CERN, que acabamos de mencionar, u otros varios que podrían describirse.

Por ello, desde el primer momento todos los países han creado organismos estatales encargados de tales tareas, tales como la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, el Comisariado Francés de Energía Atómica o la Junta de Energía Nuclear, en España. Creada en 1951, la Junta estableció su sede y laboratorios, el Centro "Juan

Vigón", del que puede verse una fotografía en la figura 20, en las proximidades de la Ciudad Universitaria de Madrid. Dispone de una plantilla de 2.100 personas, de las que 300 son titulados, y cuenta con un presupuesto anual de 800 millones de pesetas. La verdadera dimensión de estas cifras, que quizá pudieran parecer un tanto voluminosas a algunos, se aprecia al compararlas, por ejemplo, con la plantilla de 30.000 personas y con el presupuesto de 75.000 millones de pesetas del Comisariado francés, por no citar otros ejemplos. El organigrama de la figura 21 muestra la estructura de la Junta, que depende del Ministerio de Industria. En él puede apreciarse la amplia gama de actividades que cubre, con gran acierto, habiendo desarrollado soluciones propias en muchas de ellas, al mismo tiempo que mantiene estrechas relaciones de colaboración y asesoramiento con numerosas entidades y empresas españolas y con los organismos afines de otros muchos países.

12. Después de estas breves consideraciones sobre la investigación en la Física de Altas Energías

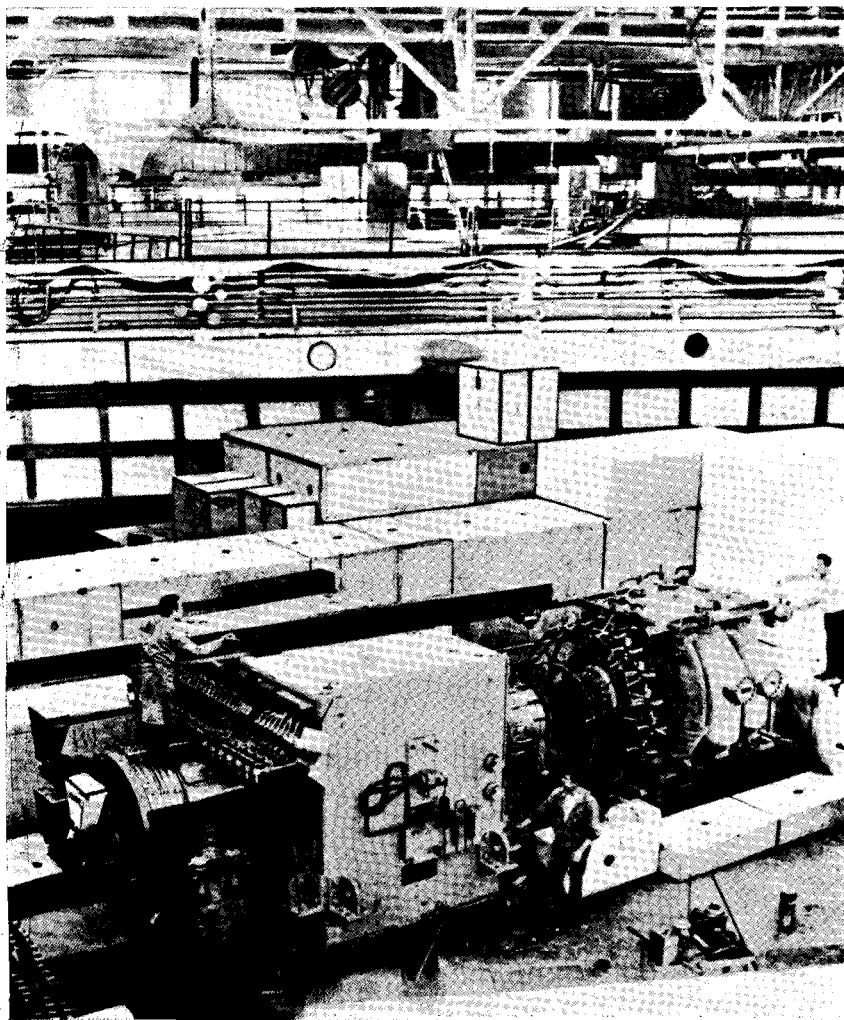


Figura 19.

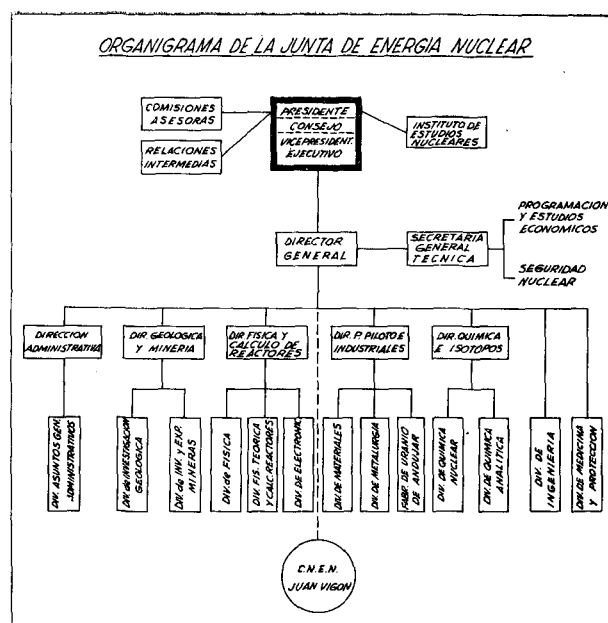


Figura 20.

y en la Energía Nuclear, volvamos nuevamente a las reacciones nucleares, para completar el proceso y ver, primero, cómo puede autosostenerse la reacción, una vez iniciada. Después, cómo puede transformarse en forma utilizable la enorme energía elemental liberada por aquélla.

Las partículas nucleares que propagan la reacción de un núcleo a otro son los neutrones, los cuales, al incidir sobre un núcleo de material desintegrable, es decir, fisiónable, como suele llamarse, lo dividen en multitud de productos de fisión, en la forma que ilustró el esquema de la figura 15. Esa fisión produce, además, diversos tipos de radiaciones, algunas sumamente peligrosas para la salud, las cuales obligan a adoptar las medidas de previsión y seguridad conocidas. Finalmente, lo que es fundamental, la fisión origina también nuevos neutrones, algunos de los cuales se encargarán, a su vez, de propagar la reacción en cadena. El calor que resulta de la reacción constituye la parte apro-

Figura 21.



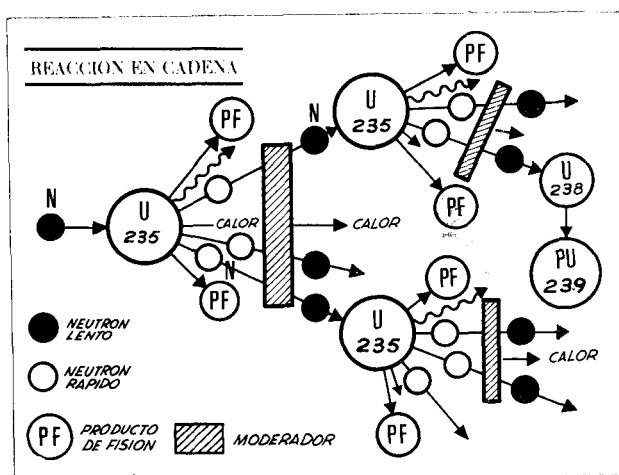


Figura 22.

vechable de la energía, igual a lo que ocurre en la combustión química. Este calor se extrae del reactor mediante un fluido refrigerante que además mantiene la temperatura del reactor en niveles que sean soportables desde el punto de vista de la tecnología de los materiales empleados. El fluido refrigerante puede ser, entre otros utilizados para tipos especiales, un gas, tal como el anhídrido carbónico, empleado en los reactores franceses e ingleses; el agua, como ocurre en los actuales diseños de tipo norteamericano; el vapor de agua, como se prevé en alguna solución futura e incluso metales líquidos tales como el sodio, que habrá de emplearse muy previsiblemente en los reactores rápidos del futuro, alguno de los cuales se encuentra ya en fase de construcción del prototipo a escala industrial, cuestión sobre la que volveremos más adelante.

Resumiendo todo lo anterior, vemos que para sostener una reacción nuclear hace falta disponer de un flujo suficiente de neutrones, aprovechados adecuadamente; contar con suficiente densidad de núcleos fisionables y disponer, asimismo, de un sistema de refrigeración y transporte de calor adecuado.

Los neutrones procedentes de la reacción nuclear están animados de una velocidad muy grande, por lo que se les llama "neutrones rápidos". Ha podido comprobarse que su eficacia para provocar una reacción de fisión aumenta muchísimo si se les frena previamente hasta un nivel de energía mucho menor, llamado térmico. Por ello, en los reactores nucleares actuales se efectúa esa operación de frenado mediante la interposición, en la zona donde tienen lugar las reacciones nucleares, de sustancias llamadas moderadoras, de las que el grafito constituye un excelente ejemplo, ampliamente

utilizado en las soluciones europeas de Francia e Inglaterra.

Pasando a considerar ahora los materiales fisionables, el uranio, abundantemente distribuido en la tierra, proporciona lo que pudiera llamarse el "combustible nuclear" para el reactor. Lo que ocurre es que no todos los átomos de uranio son fisionables, sino tan sólo una pequeñísima proporción de ellos, perteneciente a la variedad llamada uranio 235, que en la naturaleza representa tan sólo el 0,7 por 100 del uranio total. El resto está constituido por la variedad llamada 238, que no es fisionable directamente, pero sí transformable, por captación de un neutrón, en otro material fisionable de alto valor estratégico, puesto que se emplea en la fabricación de las bombas, el plutonio 239, que aparece así como subproducto utilizable para fines pacíficos y militares, de los reactores nucleares. Por esa propiedad de transformación en plutonio, el uranio 238 se llama "fértil".

El esquema de la figura 22 ilustra este proceso de la reacción en cadena. En él puede verse cómo un neutrón "lento" produce la fisión de un núcleo de uranio 235, de la que resultan "productos de fisión" que no interesan aquí; radiaciones, calor aprovechable y tres neutrones "rápidos". Estos, al atravesar el moderador, se frenan y al incidir algunos de ellos sobre otros núcleos de uranio 235, propagan la reacción. Finalmente, se muestran también la transformación de un núcleo de uranio 238, material fértil, en plutonio, el cual es a su vez fisionable, como hemos dicho.

13. Estas breves consideraciones permiten comprender el principio de funcionamiento de una central eléctrica de energía nuclear, cuyo esquema se muestra en la figura 23, donde se compara con el de una central térmica de tipo convencional, para poner de manifiesto las analogías y diferencias. En ambos casos se produce vapor para accionar la turbina que mueve el generador eléctrico. A partir de la producción del vapor, las dos centrales son esencialmente similares. Pero mientras que en la convencional el vapor se produce por calentamiento del agua que circula por los tubos de las paredes de la caldera, merced a la energía liberada en la combustión química, en la nuclear, el hogar se sustituye por el reactor, donde tiene lugar la reacción en cadena descrita, cuya intensidad se regula mediante unas barras de metal. Como puede verse, el reactor está dotado de un blindaje protector contra las radiaciones y de una pared reflectora de neutrones. El refrigerante que atraviesa el reactor lleva el calor a un cambiador, llamado en la figura, por analogía, "caldera", por donde circula el agua que

CALDERA Y REACTOR NUCLEAR ESQUEMAS COMPARATIVOS

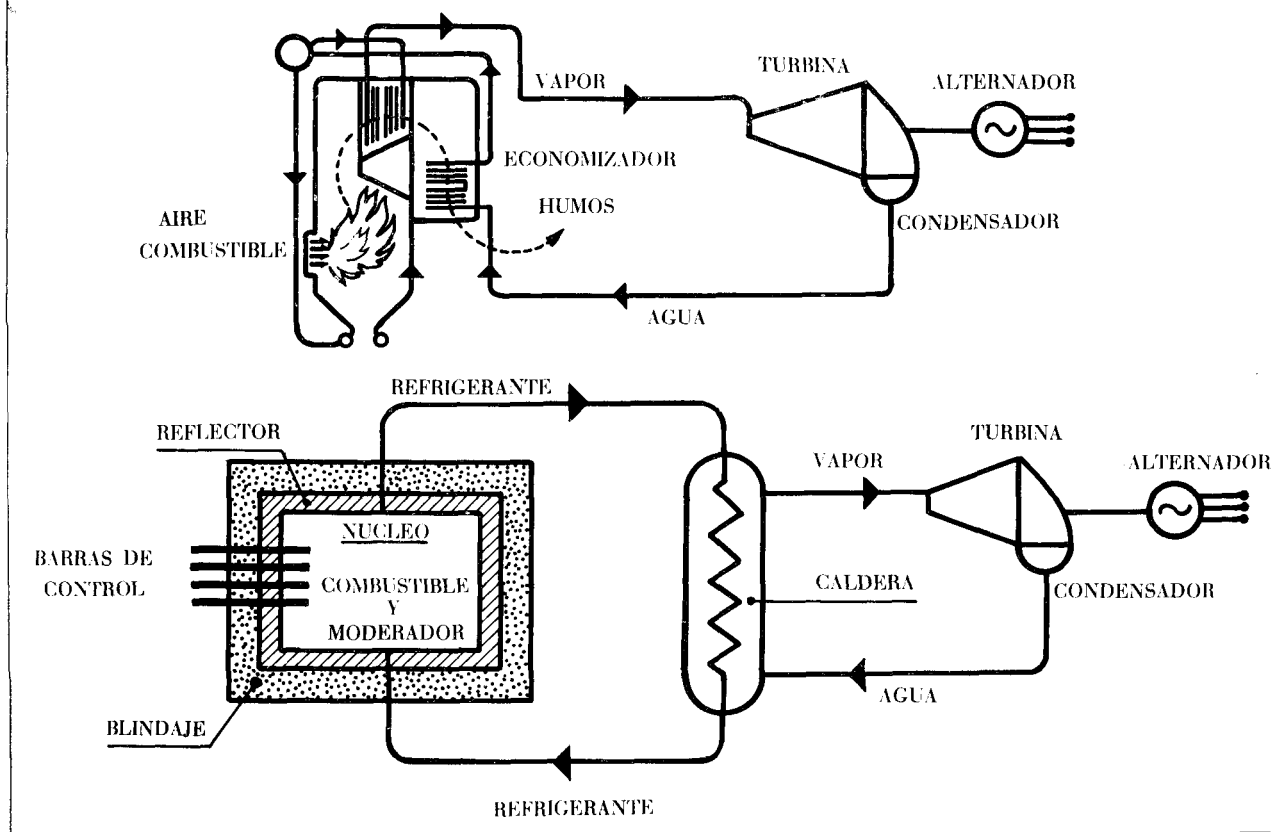


Figura 23.

se transforma en vapor, al igual de lo que ocurriría en la central convencional.

Si queremos aquí también tener una idea de la compleja instalación en que realmente se transforma el sencillo esquema anterior del reactor, podemos verlo en el dibujo seccionado de la figura 24, correspondiente a un reactor británico de 600 MW. de potencia, de la central de Dungeness B, situada en el Ducado de Kent, que entrará en servicio en 1971. Análogamente, la figura 25 muestra otro reactor británico mucho menor, de 250 MW., en fase de montaje, el cual exige el empleo de una grúa de 400 Tm. de carga.

Finalmente, la figura 26 muestra, en fase de construcción *in situ*, el recipiente de acero de contención, necesario por razones de seguridad para caso de emergencia, de una central nuclear alemana del tipo norteamericano, de refrigeración y moderación por agua, de 237 MW., que entró en servicio en 1966.

14. Hemos dicho que el uranio fisionable, es decir, el 235, entra tan sólo en la proporción del

0,7 por 100 en el uranio natural. Por tanto, a la hora de proyectar un reactor nuclear caben dos soluciones distintas:

Una de ellas consiste en mantener esa proporción del 0,7 por 100 en el reactor, fabricándolo de tal modo que, pese a ello, se mantenga la reacción en cadena. Esta es la solución desarrollada y adoptada por Inglaterra y Francia y la que se aplica también en la Central Franco-Española de Vandellós, actualmente en construcción. Los reactores de este diseño están moderados por grafito, refrigerados por gas y utilizan uranio llamado "natural". La figura 27 muestra un esquema de las centrales de este tipo.

La otra solución, la norteamericana, consiste en enriquecer el uranio, aumentando la proporción de 235 hasta un nivel que permita utilizar como moderador y refrigerante simultáneo al agua, con lo que se consiguen reactores más compactos y económicos. Dicho nivel suele ser del 2,1 por 100. De ella existen dos variantes que se muestran en el esquema de la figura 28: una de agua a presión,

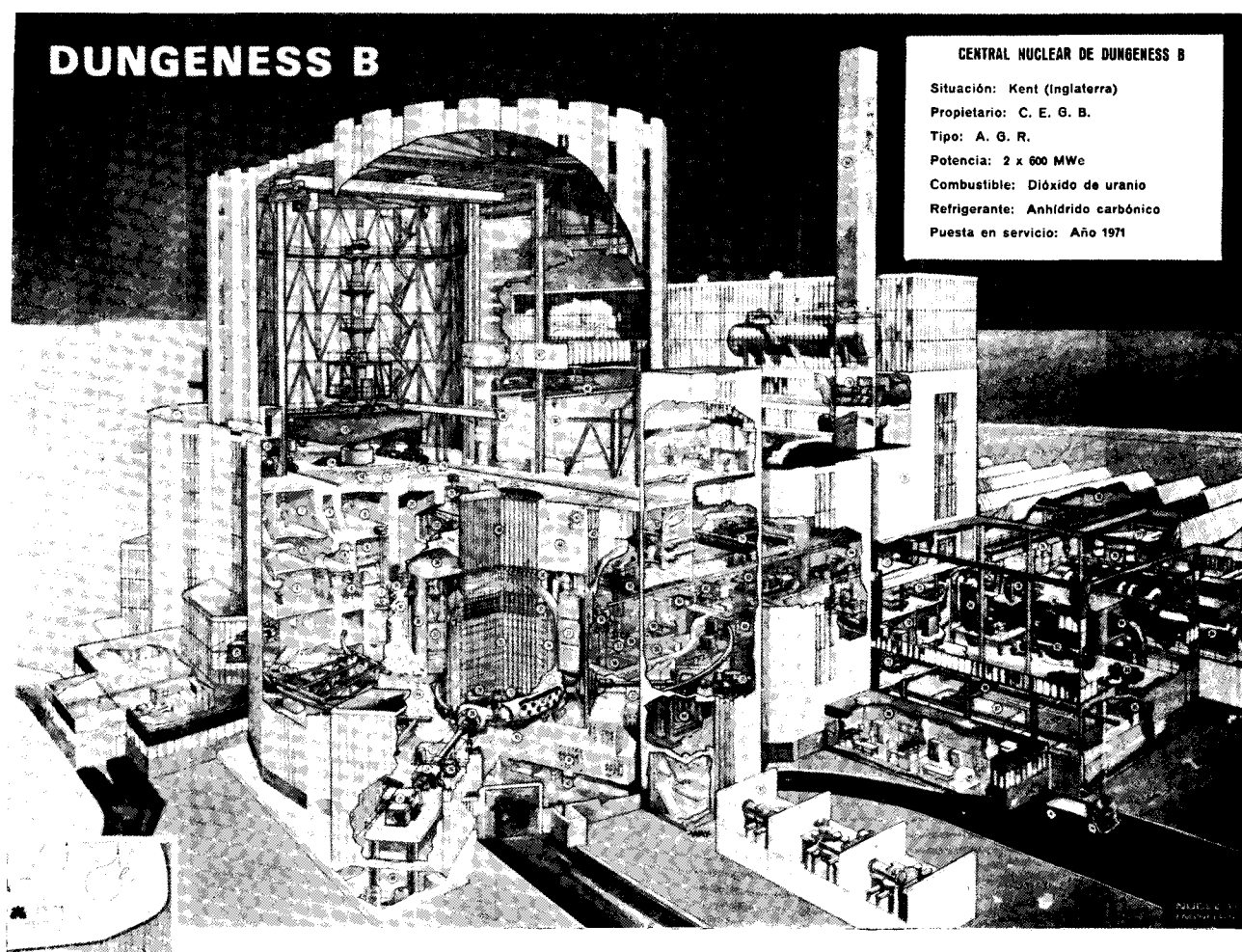


Figura 24.

como la de la central española de Zorita de los Canes, de 150 MW. de potencia, que entrará en servicio en 1968, y otra de agua en ebullición, como la que se está construyendo en Santa María de Garoña, de 460 MW. y que se pondrá en funcionamiento en 1970.

La dificultad estriba aquí precisamente en lograr ese enriquecimiento, es decir, en aumentar la concentración de uranio 235.

En efecto, éste y el uranio 238 tienen propiedades químicas idénticas, puesto que su única diferencia está en el núcleo. Esto obliga a recurrir, para su concentración, a procedimientos físicos, los cuales resultan, además, muy laboriosos y costosos, ya que el peso de ambos átomos es casi también el mismo. El procedimiento que se aplica es el llamado de difusión gaseosa, para la que, a escala industrial, en el mundo occidental sólo disponía de instalaciones apropiadas hasta hace poco Norteamérica, que con ello consiguió una posición de evidente ventaja en este tipo de reactores, la cual

justificaba la preferencia de algunos países por los de uranio natural.

Característicos de estos reactores son los recipientes de acero, de gran tamaño y espesor, que encierran el reactor y que deben salir terminados de fábrica. Para algunas de las centrales actualmente en construcción, esos recipientes, fabricados bajo severísimas condiciones de calidad, tienen un diámetro de 6 metros, un espesor de chapa de más de 30 cm. y pesan más de 800 Tm., cifras que aumentarán seguramente durante los próximos años. Son perfectamente comprensibles las dificultades tecnológicas de su fabricación, cuya soldadura, por ejemplo, hay que comprobar al 100 por 100, sin que sirvan para esos espesores los rayos X. que han de sustituirse por el empleo de aceleradores lineales de partículas, como puede verse en la figura 29. Otra dificultad muy importante es el problema del transporte, en una pieza, que hay que hacer por agua, mediante gabarras, utilizando el curso de ríos navegables, en cuya orilla o la del mar hay que

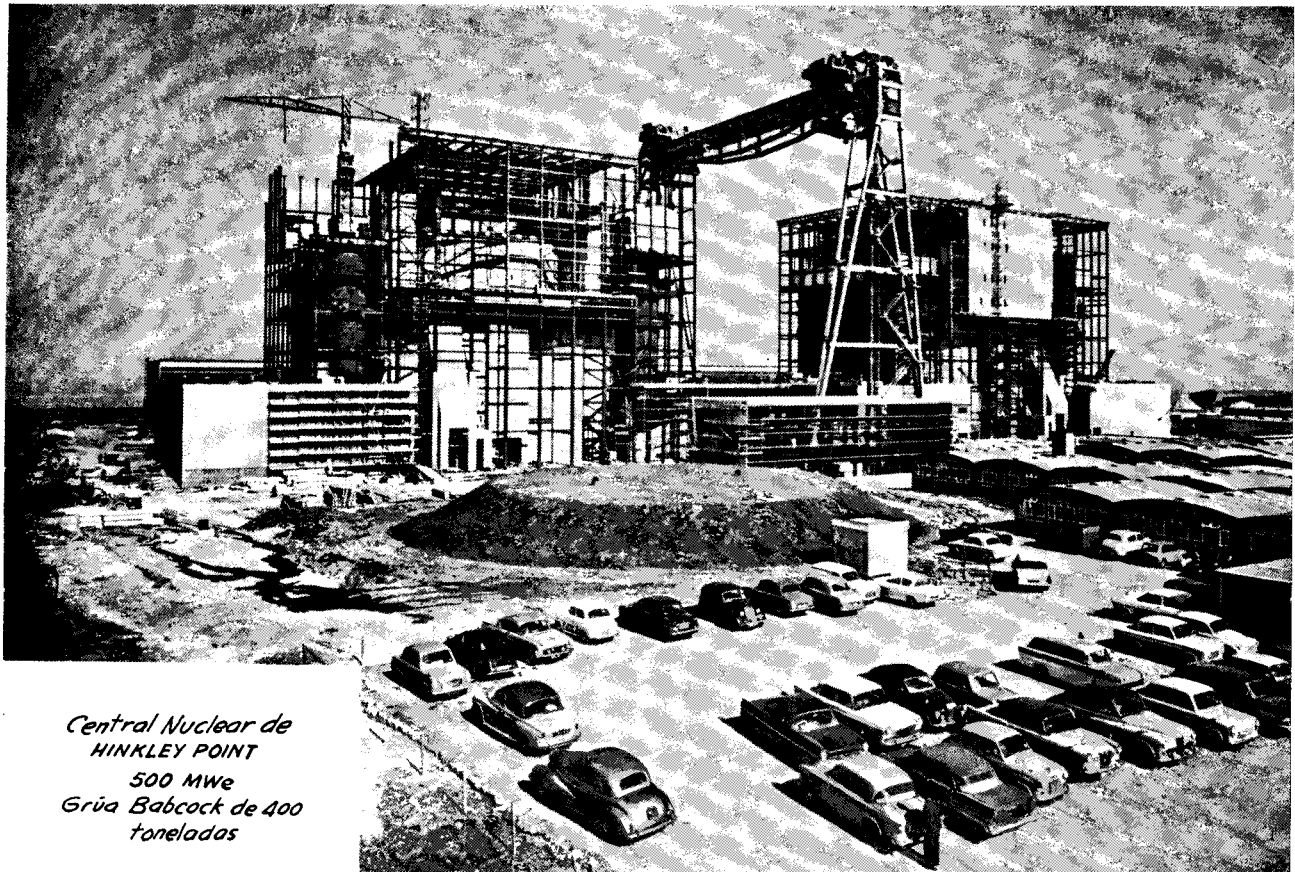


Figura 25.

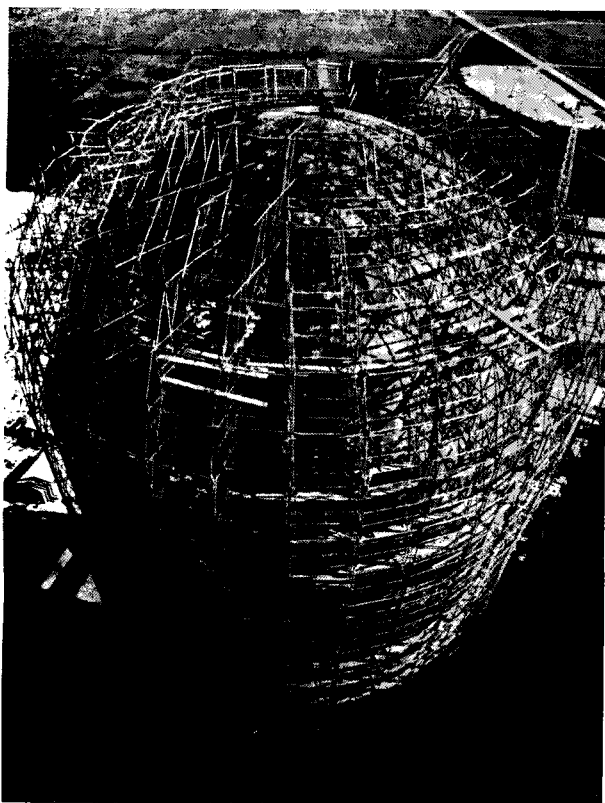
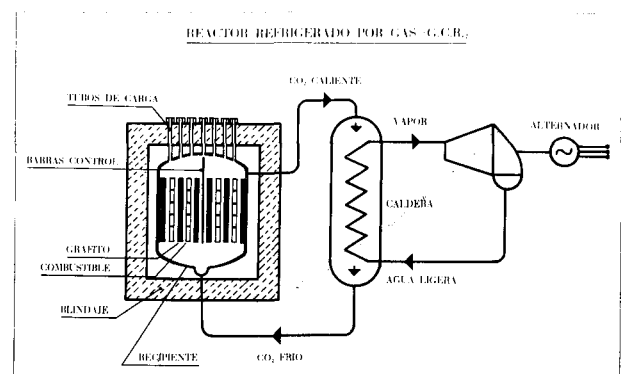


Fig. 26. — Recipiente de acero de contención de una central nuclear alemana.

Figura 28



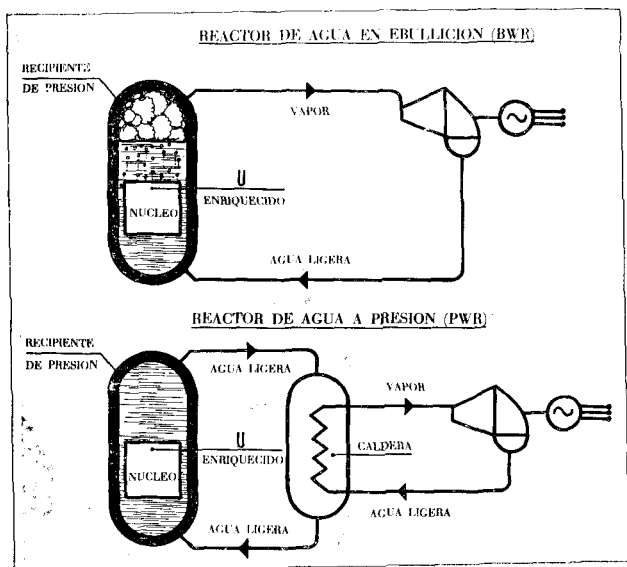


Figura 28.

instalar, tanto las centrales como los talleres que fabrican los recipientes. La figura 30 muestra los talleres de la Babcock & Wilcox norteamericana, destinados a este tipo de fabricaciones, los cuales están instalados en Mount Vermont, a orillas del Ohio, y la figura 31 muestra el primer recipiente pesado que salió de los mismos, en 1965, de 250 toneladas de peso.

Fig. 30. — Vista parcial de un taller para la fabricación de grandes recipientes de presión.

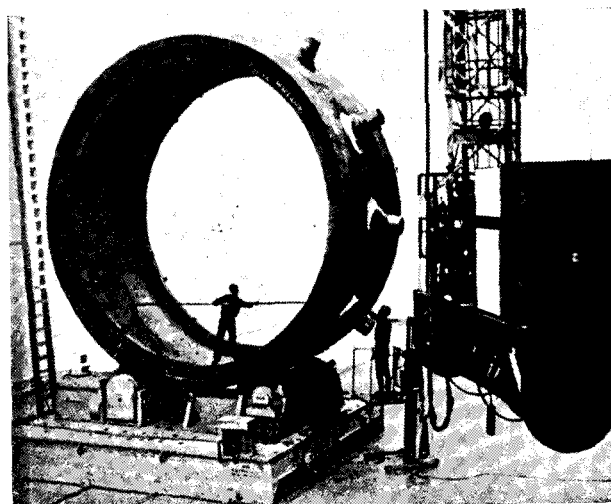
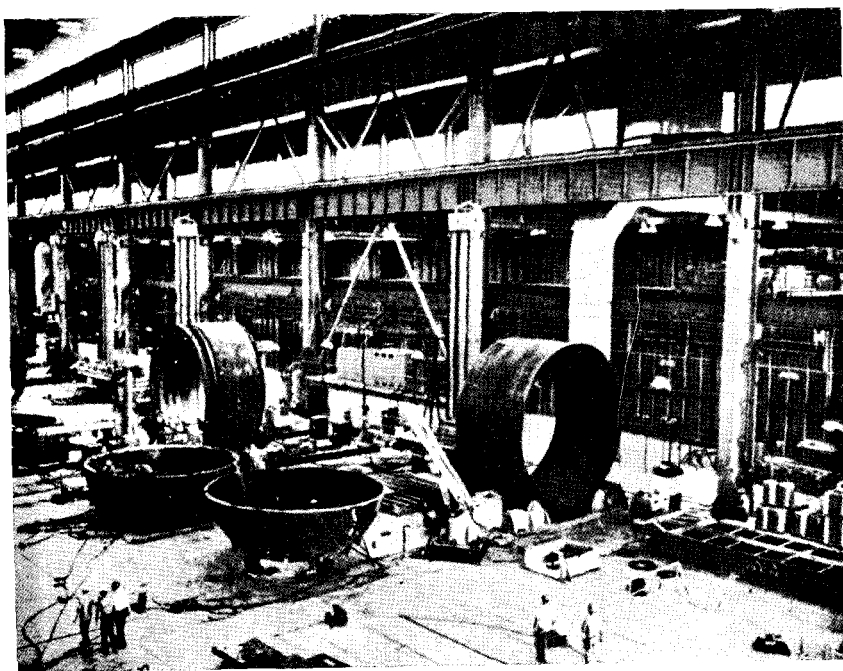


Fig. 29. — Acelerador lineal de 12.8 MeV., con capacidad para examinar piezas de 14 pulgadas de espesor (355 milímetros) en tres minutos.

15. Los reactores de los tipos descritos, de uranio natural y enriquecido, de los que actualmente existen en el mundo unos 180, bien sea en funcionamiento, construcción o proyecto, constituyen lo que suele llamarse la primera generación de reactores, plenamente comercializados y bastante experimentados, los cuales representan el nivel tecnológico del presente en este sector. Pero ya apuntan nuevas soluciones, algunas en fase de desarrollo en estos momentos, como el reactor de neutrones rápidos, ya citado, cuya utilización se hará necesaria en plazo relativamente próximo, si la energía nuclear ha de subsistir, como parece seguro, como una de las formas básicas de la energía del futuro. Pero para aclarar esto, es necesario ocuparse por un momento del inventario y consumo de combustibles nucleares, lo que hacemos a continuación.

16. En una central de combustible fósil hay que alimentar continuamente el hogar de la caldera, con carbón o con fuel-oil, para mantener la combustión. Por ejemplo, una central convencional de 500 MW. consume, a plena carga, más de un millón de toneladas métricas de carbón, o de 800.000 toneladas métricas de fuel al año.

Por el contrario, en una central nuclear, la carga inicial dura mucho tiempo, si bien periódicamente hay que sustituir una fracción de ella por otra nueva, de acuerdo con un programa preestablecido para reponer el combustible que se haya consumido y sustituir el que haya sido irradiado por otro que no haya sufrido los efectos de la radiación. Así pues, se opera según un ciclo de carga y reposición que obliga a tomar en cuenta dos inventarios de combustible para la central: el de la carga inicial y el de reposición periódica anual.

Por ejemplo, en una central nuclear de uranio natural de 500 MW., la carga inicial es de 320 Tm. de uranio, y la reposición anual de 80 TM. Si la central es de uranio enriquecido, ambas cargas se reducen a 110 y 30 Tm., respectivamente.

La comparación de estas cifras tan pequeñas con los consumos anuales de carbón o fuel citados anteriormente, ilustra muy expresivamente una de las diferencias fundamentales entre las centrales fósiles y nucleares. Desde un punto de vista económico, ello significa que la influencia del costo del combustible en el precio de la energía es mucho mayor en la central fósil que en la nuclear, mientras que la del costo de instalación de la central es al revés.

Por otra parte, en una central nuclear, con reactores de la actual generación, la fracción de combustible que realmente se ha quemado al extraerlo, para cambiarlo por otro nuevo, es muy pequeña. Del orden del 2 por 100 solamente.

La consecuencia de todo esto es doble. De un lado, que si el ritmo de crecimiento de las centrales actuales se mantiene, puede llegar a agotarse el inventario de uranio disponible. Por ejemplo, en España, uno de los países más favorecidos de Europa en cuanto a las reservas de uranio, las cuales se cifran actualmente en 10.000 TM., ese límite corresponde a una potencia instalada de unos 8.000 MW, es decir, un 70 por 100 aproximadamente de la potencia eléctrica total del país hoy, debiendo advertirse que, según las actuales previsiones, esa potencia nuclear se alcanzará hacia el año 1980. Claro es que puede obtenerse más uranio, aquí como en los otros países, mediante la explotación de yacimientos más pobres o difíciles; pero con ello se resentiría la competitividad del sistema, frente a las centrales convencionales.

La otra consecuencia de esta situación es que el combustible extraído de una central es recuperable en su mayor parte para volver a utilizarlo nuevamente, después de someterlo a un proceso de reciclado que recupera el uranio no consumido, separa el plutonio que se haya producido y aísla convenientemente enterrándolos, por ejemplo, los elementos irradiados no aprovechables. El esquema

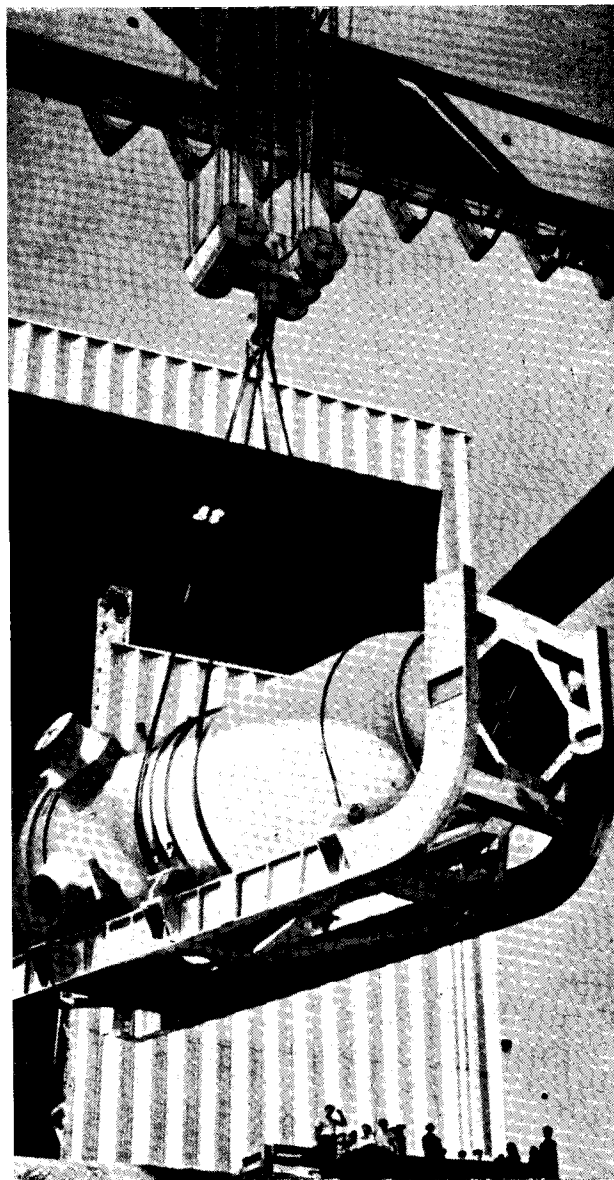


Figura 31.

de la figura 32 muestra el ciclo completo de una central nuclear, a partir de la extracción del mineral de uranio.

17. Hemos dicho hace un momento que para no agotar las reservas de uranio "económico" ni estrangular el futuro desarrollo de las centrales nucleares, es necesario disponer de nuevos tipos de reactores que aprovechen mejor el combustible, pasando de la utilización del 2 por 100 antes citada, al 80 por 100. Este es el terreno en el que, en los momentos actuales, se riñe una de las principales batallas de la investigación y el desarrollo nucleares, en búsqueda de soluciones que sean tecnológica y económicamente viables, las cuales configura-

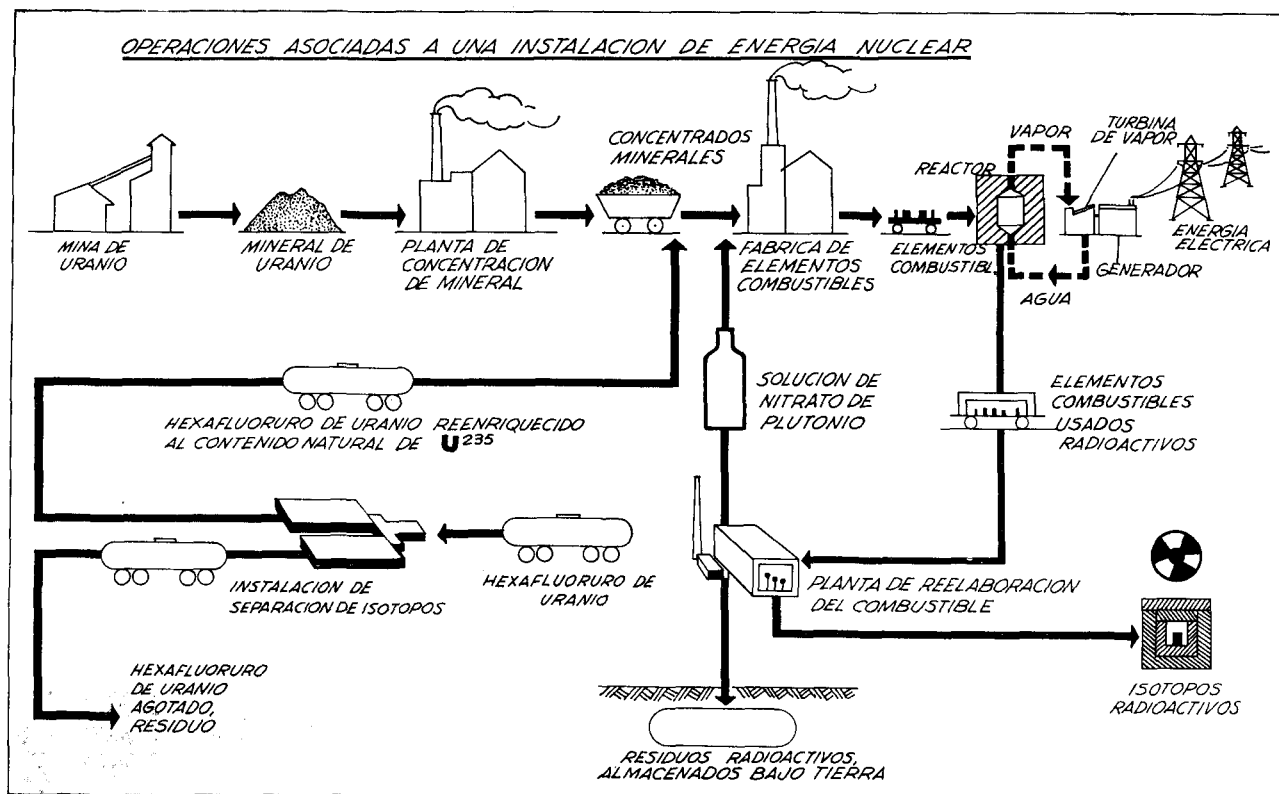


Figura 32.

rán los nuevos tipos de reactores de la segunda generación, cuya aparición se espera para la década del 70.

La solución prevista la proporciona el tipo de reactor llamado *reproductor*, especialmente el rápido.

Vimos en el esquema de la figura 22 que alguno de los neutrones producidos en la reacción en cadena, al incidir sobre un núcleo de uranio 238, no fisionable pero sí fértil, lo transforman en plutonio 239, el cual, como dijimos, es un producto fisionable, muy análogo al uranio 235 y que, por consiguiente, puede emplearse también como combustible en una central nuclear.

En los reactores térmicos actuales, por cada tres núcleos de uranio 235 consumidos se producen solamente dos núcleos de plutonio. Es decir, en ellos la reacción en cadena produce menos material fisionable nuevo que el que consume.

Se trata ahora de alterar esta relación, si es posible, de tal modo que durante el funcionamiento del reactor se produzca un número de núcleos de plutonio mayor que el que se consume de uranio, con lo que la disponibilidad de material fisionable aumentará, en lugar de disminuir, durante el funcionamiento de la central. Con ello se conseguirá la paradójica situación de que la central, al

funcionar, produzca su propio combustible, más un excedente para alimentar otras.

Esto puede conseguirse utilizando un reactor de uranio altamente enriquecido, de plutonio o de una mezcla de ambos, con neutrones rápidos, es decir, no moderados. Los reactores que tienen esta propiedad se llaman por ello "*reproductores*". El inventario de combustible que se necesita para ellos es muchísimo menor que el de los reactores actuales. Por ejemplo, para una central de 500 MW., bastaría con tonelada y media de plutonio, frente a los cientos de toneladas de uranio antes mencionados, para los reactores actuales. Además, el combustible se aprovecha en ellos al 80 por 100, en vez de al 2 por 100, antes de tener que reponerlo.

Por lo tanto, se trata de reactores incomparablemente más eficaces y compactos que los de hoy.

Pero esta importante ventaja origina, entre otras, una grave dificultad de tipo tecnológico, puesto que, al liberarse la misma cantidad de calor en un volumen mucho más reducido, es necesario emplear sistemas de arrastre de calor que sean también mucho más enérgicos. Una solución consiste en el empleo de un metal fundido, concretamente sodio, con todos los inconvenientes tecnológicos que lleva consigo el operar con un fluido de esta naturaleza. El esquema de la figura 33 ilustra esta

solución. En él puede verse cómo el sodio procedente del reactor cede su calor al agua en la caldera, donde se produce el vapor, como en los otros tipos de centrales.

Actualmente se construye en Dounreay (Escocia), un reactor prototipo de esta clase, de 250 MW. de potencia, que entrará en servicio en 1974 (*).

Es interesante puntualizar que el plutonio no se da en la naturaleza, sino que hay que producirlo artificialmente, lo cual ocurre en los reactores térmicos. Por tanto, éstos han sido un paso en cierto modo necesario para llegar a los rápidos, con los que coexistirán indudablemente durante bastante tiempo.

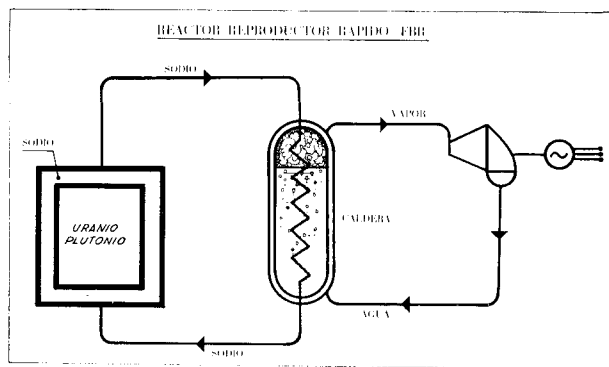


Figura 33.

Soluciones alternativas a la que acabamos de describir, que actualmente se encuentran en fase de investigación, prevén la utilización del vapor o de un gas como el helio en lugar del sodio.

El esfuerzo que requiere la investigación en el campo de los reactores rápidos es muy grande. En Inglaterra, por ejemplo, de 3.400 millones de pesetas al año sólo en investigación, es decir, excluido el costo del reactor antes citado. Por ello, para el estudio de las variantes de vapor y de gas se ha pensado en un programa cooperativo entre varios países europeos, entre los que se encuentra España.

El proyecto se llevaría a cabo en el marco de la Agencia Europea de Energía Nuclear (ENEA), de la OECD, con la colaboración de las industrias de los países participantes, a través del FORATOM, que agrupa a los foros atómicos nacionales. En estos momentos se analiza la viabilidad de este pro-

(*) Precisamente en estos días ha empezado a funcionar en el Centro "Juan Vigón" de la J.E.N., el primer reactor rápido experimental español. Conviene aclarar que en este reactor, casi íntegramente diseñado y construido en nuestro país, no se trata, como en los que acabamos de citar, de obtener energía, sino que es de los llamados de potencia cero o nula. Es, pues, una herramienta básica de trabajo, imprescindible para iniciar los trabajos e investigaciones que hay programados en el terreno de los reactores rápidos. De este modo, la Junta de Energía Nuclear incorpora a nuestro país una tecnología de extrema vanguardia.

yecto cooperativo europeo, así como la forma de instrumentar su ejecución.

Para terminar, pasemos ahora a considerar otros dos temas de interés, relacionados con el futuro de la energía.

18. La producción de energía eléctrica se ha visto tradicionalmente asociada con el almacenamiento del agua para el riego en las centrales hidroeléctricas construidas al pie de los pantanos.

El creciente desarrollo de las centrales térmicas, de combustible fósil, que han ido tomando una posición preponderante a medida que se agotaban los recursos hidráulicos, puso fin a aquella fecunda simbiosis.

Pero la energía nuclear puede restablecer la asociación en el futuro mediante la construcción de grandes plantas combinadas de energía eléctrica y desalación del agua del mar, a precios que resulten económicos, para el riego de las explotaciones agrícolas. La realización de estos proyectos abriría las puertas a la vieja aspiración bíblica, hoy renacida, de la fertilización de las zonas áridas del planeta.

La figura 34 muestra el esquema de una de tales plantas de doble propósito. La idea consiste en aprovechar parte del vapor extraído de la turbina, de una central térmica como las anteriormente descritas, para producir la evaporación del agua del mar que, al condensarse, proporcionaría agua libre de sales, apta para el consumo de las poblaciones y para el riego.

La técnica aplicada se llama de evaporación instantánea y de ella existen numerosas realizaciones industriales en muchos países, incluido el nuestro, pero en centrales de tamaño mucho más pequeño, que producen, a lo más, unas decenas de miles de metros cúbicos por día.

El precio a que resulta el agua desalada en las plantas de las dimensiones actuales, la hace prohibitiva para el riego. Pero los datos disponibles muestran que la solución podría resultar económica, merced al efecto de escala, en centrales gigantes, del millar de MW. de potencia, que produjeran centenares de miles de metros cúbicos de agua al día. En la actualidad existen en estudio proyectos de viabilidad de este tipo: concretamente, por ejemplo, en California.

Estas previsibles relaciones entre la desalación del agua del mar y la energía nuclear, han motivado que en algunos países, entre los que se cuenta el nuestro, se asigne al organismo nuclear oficial, en nuestro caso la Junta, el estudio de los problemas de la desalación. En cumplimiento de esta nueva misión, la Junta de Energía Nuclear española ha puesto en práctica un programa de investigación y desarrollo, que efectúa por sí misma y en

colaboración con varias empresas, con un planteamiento de cuya eficacia y flexibilidad hay que esperar resultados positivos.

19. En todos los esquemas de centrales térmicas que hemos mostrado, bien sean fósiles o nucleares hemos visto que para convertir la energía primaria, química o nuclear, en energía eléctrica, era necesario transformarla previamente en energía mecánica, mediante una turbina movida por gas o por vapor, que accionase el generador eléctrico.

Esta clase de centrales podría simplificarse extraordinariamente si la energía primaria se pudiera transformar directamente en eléctrica, suprimiendo el escalón mecánico intermedio, con lo que desaparecerían la caldera, la turbina y las partes móviles del generador eléctrico.

Desde hace años se viene investigando sobre la posibilidad de aplicar una solución de este tipo, utilizando alguno de los principios que se muestran en el esquema de la figura 35.

No es posible entrar aquí en el análisis y grado de desarrollo alcanzado para cada uno de ellos, por lo que nos limitaremos a señalar que algunos, como las pilas de combustible, están siendo utilizados ya en los satélites y naves espaciales, al mismo tiempo que se explora su aplicación en vehícu-

los terrestres, en sustitución del motor de explosión.

En cuanto a la magnetohidrodinámica, cuyo fundamento consiste en hacer pasar un gas que se ha ionizado en una cámara de combustión, por un campo magnético, para engendrar la corriente entre dos electrodos, parece la solución adecuada para centrales grandes, habiéndose realizado ya instalaciones de dimensión considerable, que han funcionado satisfactoriamente durante breves intervalos de tiempo. Pero las dificultades tecnológicas que hay que superar para alcanzar una solución industrial son todavía considerables.

Sin embargo, lo mucho que se ha conseguido hasta aquí en las técnicas de producción de energía, algunas de cuyas realizaciones principales acabamos de revisar brevemente, autoriza a esperar del futuro una solución para este ambicioso problema de la producción directa de energía eléctrica. Al conseguirse, significará un paso tan revolucionario al menos como lo fue en el pasado la invención del turboalternador, en que descansan las soluciones del presente.

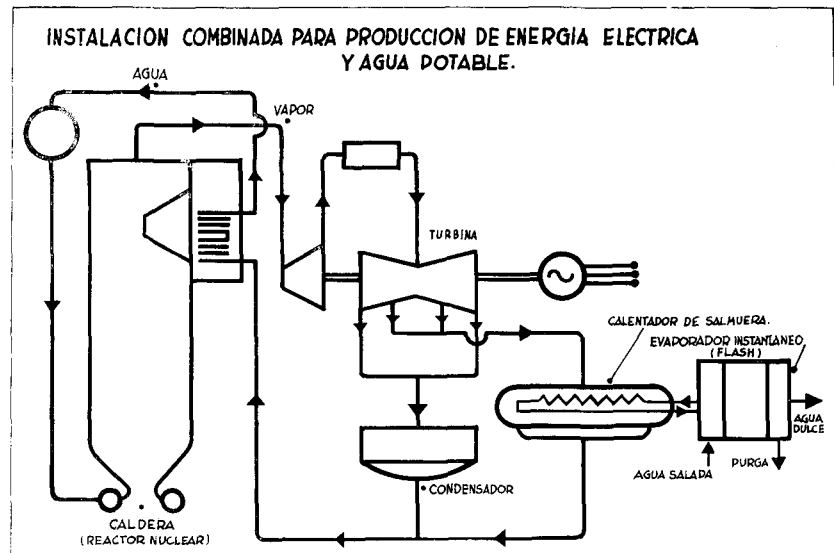


Figura 34.

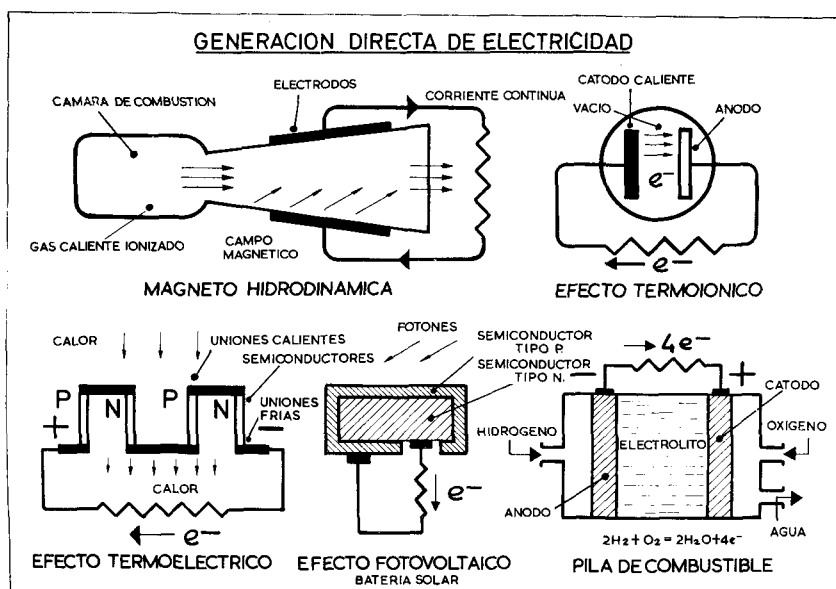


Figura 35.